

Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
«Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан»

Академия наук Узбекистана

Международный фонд гуманитарного сотрудничества государств
участников СНГ

Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга МЧС
Республики Узбекистан

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Материалы XVII Международной
сейсмологической школы



Материалы XVII Международной сейсмологической школы

ISBN 978-5-903258-42-0



9 785903 258420

**Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
Институт сейсмологии имени Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан
Академия наук Республики Узбекистан
Международный фонд гуманитарного сотрудничества
государств участников СНГ
Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга
МЧС Республики Узбекистан**

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**Тезисы XVII Международной сейсмологической школы
г. Ташкент, Республика Узбекистан, 11–15 сентября 2023 г.**

MODERN METHODS OF PROCESSING AND INTERPRETATION OF SEISMOLOGICAL DATA

**Abstracts of the XVII International Seismological Workshop
Tashkent, Republic of Uzbekistan, September 11-15, 2023**

Обнинск – 2023

УДК 550.34

ББК 26.217

C568



Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – 156 с. – EDN: KBIISM

ISBN 978-5-903258-48-2

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XVII Международной сейсмологической школе «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных», состоявшейся в г. Ташкенте, Республика Узбекистан, 11–15 сентября 2023 года. Рассматривается широкий круг вопросов современной сейсмологии.

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

Редакционная коллегия

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

Подготовка и издание сборника осуществлены при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (УНУ СИЗК МАК) (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Malovichko A.A. (Ed.). (2023). *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Tezisy XVII Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Abstracts of the XVII International Seismological Workshop]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ., 156 p. (In Russ.). EDN: KBIISM

Abstracts contain the reports presented at the XVII International Seismological Workshop "Modern methods and interpretation of seismological data" held in Tashkent, Republic of Uzbekistan, September 11-15, 2023. A wide range of issues of modern seismology is considered.

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

Editorial Staff

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

ISBN 978-5-903258-48-2

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2023

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

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

Федеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба Российской академии наук (ФИЦ ЕГС РАН), одна из крупнейших научных организаций в системе Минобрнауки – РАН, фактически является Национальным сейсмологическим центром, включающим более 360 стационарных сейсмических станций и десять региональных информационно-обрабатывающих центров, функционирующих в непрерывном режиме. По состоянию на 01.06.2023 г. численность сотрудников составляет 995 человек, работающих в 11 филиалах и Центральном отделении в г. Обнинске, на балансе организации числится 204 объекта недвижимости общей стоимостью 2.5 млрд. руб. и 122 земельных участка общей площадью 1.9 млн. м² и общей кадастровой стоимостью 11.9 млрд. руб.

ФИЦ ЕГС РАН решает исключительно широкий спектр фундаментальных и прикладных научных задач, значительная часть из которых определена соответствующими постановлениями Правительства Российской Федерации [1, 2]. Работа ФИЦ ЕГС РАН направлена на обеспечение национальной безопасности страны как в части своевременного оповещения о катастрофических явлениях природного и техногенного характера и их вероятных последствиях, так и в части контроля за проведением ядерных испытаний на территории земного шара. В составе ФИЦ ЕГС РАН круглосуточно действует Служба срочных донесений о произошедших землетрясениях, оперативность и точность работы которой определяется непрерывным улучшением методик сбора, передачи и обработки сейсмологической информации [3].

Работы, проводимые в рамках обеспечения бесперебойного функционирования федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (ФССН), а также функциональной подсистемы предупреждения о цунами, имеют строго прикладной характер, направленный на непрерывный сбор большого количества сейсмологических и геодинамических данных. Такие данные широко востребованы как научными организациями различного ведомственного подчинения (Минприроды, Минстрой, МЧС, МО РФ), так и организациями и предприятиями реального сектора экономики, прежде всего связанными с добычей полезных ископаемых, гидро- и атомной энергетикой. Работа по обработке и представлению полученных данных построена таким образом, чтобы любая заинтересованная организация, независимо от ведомства, могла иметь доступ к информации о землетрясениях почти в режиме реального времени.

В докладе приводится информация о современном состоянии ФССН, оценка результатов ее работы в 2022 году. Также в докладе обсуждаются наиболее значимые достижения, полученные ФИЦ ЕГС РАН в 2022 г., и перспективы по развитию ФССН.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *«О федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений»*. Постановление Правительства РФ от 11 мая 1993 г. № 444. – URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=2&nd=102023416
2. *«Об утверждении Положения о федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений»*. Постановление Правительства РФ от 25 декабря 1993 г. № 1346. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9005091>
3. *Виноградов Ю.А., Рыжикова М.И. и др.* Сильные землетрясения земного шара во II полугодии 2022 г. по данным ССД ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 1. – С. 7–25. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.1.01>. – EDN: WSZPLJ

ИНДУЦИРОВАННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ НА ТЕРРИТОРИИ ДАГЕСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТУРЕЦКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 6 ФЕВРАЛЯ 2023 Г.

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

Землетрясения в Турции 06.02.2023 г. сопровождались более чем 30 индуцированными землетрясениями на территории Дагестана и прилегающих районов. Сопоставление каталогов дагестанских и турецких землетрясений [1, 2] выявило корреляционную связь во времени между землетрясениями в Турции 06.02.2023 г. и на территории Дагестана. При более детальном рассмотрении волновых форм турецких землетрясений на записях сейсмостанций Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН было замечено, что вступление сейсмических волн турецких землетрясений на территорию Дагестана сопровождалось индуцированными местными землетрясениями, энергетический класс которых доходил до 9. Это явление наблюдалось также при крупных японских землетрясениях на расстояниях порядка 8000 км. Однако зависимость между магнитудами индуцирующего и индуцированного землетрясений и расстоянием между ними пока не установлена.

Возможной причиной этого явления могут оказаться резонансные явления в геофизической среде. Индуцированные землетрясения в большинстве своем реализовались компактно в одной зоне на территории Дагестана, приграничной с Чеченской Республикой, что косвенно указывает на их резонансный характер, так как, возможно, на приход сейсмических волн турецких землетрясений откликается одна и та же геологическая структура. Исследование рассматриваемого явления и его причин продолжается.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адилев З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагамова Е.Ю., Шахмарданова С.Г. Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2023 г. – Махачкала: Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – 111 с.
2. *Eartquake information* // CSEM EMSC [Site]. – URL: <https://www.emsc-csem.org/#2>

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ МАСТЧИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 22 МАРТА 2023 Г.

Б. Аламов, Р.У. Джураев, к.г.-м.н.
ИГССС НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан

В Центральном Таджикистане 22 марта 2023 г. произошло землетрясение ($M=5.8$, $H=12$ км) с интенсивностью в эпицентре 7 баллов по шкале MSK-64. Эпицентр землетрясения был расположен в 2 км к юго-востоку от кишлака Палдорак района Мастчохи Кухи. В кишлаке Палдорак, где интенсивность сотрясений достигала 6–7 баллов, значительные повреждения получили преимущественно глинобитные жилые дома и постройки из рваного камня. Кишлак расположен у северного подножия Зеравшанского хребта на левом борту долины одноименной реки. Землетрясение в зоне наибольшего сотрясения сопровождалось проявлением большого количества остаточных деформаций грунтов. Как показала практика, остаточные деформации грунтов, вызванные землетрясением, являются одним из значимых факторов при определении эпицентральной зоны сейсмического события и уточнения балльности.

Основные остаточные деформации грунтов при Мастчинском землетрясении 22.03.2023 г. в виде оползней, небольших обвалов, камнепадов и трещин в грунтах образовались на склонах долины реки Палдорак (левый приток реки Зеравшан) на расстоянии от 1.5 до 4.0 км к югу от кишлака Палдорак, где населенные пункты отсутствуют. Во время землетрясения на склонах долины реки Палдорак, сложенных на поверхности суглинками с большим содержанием обломочных пород и щебня, образовались трещины длиной от 50–60 до 300–400 м с шириной раскрытия от 20–30 см до 1–2 м. В пределах крупных старых оползней произошли вторичные смещения оползневых масс, образовались небольшие новые оползни в нижних частях склонов. Одним из таких оползней было перекрыто русло небольшой реки Палдорак (в 1.5 км севернее одноименного селения), в результате образовалось большое завальное озеро. В верховьях долины образовалось множество камнепадов и снежных лавин. Анализ характера и размеров остаточных деформаций грунтов позволил обозначить зону 7-балльного сотрясения, которая почти совпадает с эпицентром землетрясения, определенного по инструментальным данным. Дана оценка вероятности повторного схождения оползней и возможной степени угрозы объектам, расположенным в нижней части долины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Джураев Р.У., Аламов Б.А., Байгенов Д.Ф.* Макросейсмическое обследование Сарезского землетрясения 7 декабря 2015 года с $K=17.0$, $M=7.2$, $I_0=7-8$ (Памир, Таджикистан) // Двадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник научных материалов / Гл. ред. А.А. Маловичко. – Пермь: «ГИ УрО РАН», 2019. – С. 223–234.
2. *Джураев Р.У.* Влияние сейсмогравитационных явлений на оценку сейсмического риска в горных районах Таджикистана // Труды Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии. Вып. 3. – Душанбе: Дониш, 2020. – С. 63–73.
3. *Джураев Р.У.* Тавильдаринское землетрясение 12 мая 2012 г. с $M=5.9$, $I_0=7$ (Таджикистан) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 345–354. – EDN: ZSRMTC

КОРА И ВЕРХНЯЯ МАНТИЯ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ ПО ПРИЕМНЫМ ФУНКЦИЯМ

¹И.М. Алёшин, к.ф.-м.н., ²А.Г. Гоев, к.ф.-м.н.,
³М.Ю. Нестеренко, д.г.-м.н., ¹А.И. Астаскевич

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ИДГ РАН, г. Москва

³ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург

Долгое время основным инструментом изучения строения коры и верхней мантии служил метод глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). При довольно высокой степени геологической изученности нефтегазоносного Южного Предуралья профилей ГСЗ явно недостаточно и отсутствует системность в пространственном их расположении. Производство работ по созданию новых профилей весьма трудозатратно. Альтернативой для построения модели земной коры и мантии может служить метод функции приемника [1], позволяющий, помимо прочего, оценить свойства границ переходной зоны мантии [1, 2]. В этой связи большие возможности по изучению глубинного строения земной коры в Южном Предуралье предоставляют результаты работы с 2005 г. Оренбургской сети стационарных сейсмических станций, оснащенных современными широкополосными велосиметрами. В докладе представлен глубинный скоростной разрез (зависимость скорости поперечных упругих волн от глубины) для части Южного Предуралья, соответствующей западу Оренбургской области (Оренбургское Предуралье). Разрез построен методом функций приемника (Receiver Function – RF). Были использованы данные широкополосных велосиметров, входящих в состав Оренбургской сети сейсмических станций [3]. Выявлено около 30 удаленных событий, находящихся на эпицентральных расстояниях от 40 до 100°, пригодных для обработки методом RF. Это позволило построить функцию приемника на основе обменных волн P_s (PRF) на основе стандартной техники [1]. Кроме того, суммирование индивидуальных PRF со смещением во временной области в зависимости от глубины конверсии позволило выделить обменные волны от границ зоны фазовых переходов верхней мантии. Полученные данные были использованы для вычисления распределения скорости поперечных волн с глубиной. Решение получено методом инверсии волновых форм, описанным в статье [4]. Полученные данные в целом соответствуют существующим моделям земной коры и уточняют ее строение в районах расположения сейсмических станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Винник Л.П.** Сейсмология приемных функций // Физика Земли. – 2019. – № 1. – С. 16–27. – DOI: 10.31857/S0002-33372019116-27. – EDN: BYXDGY
2. **Гоев А.Г.** О некоторых особенностях границ зоны фазовых переходов в верхней мантии центральной части Кольского полуострова // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2022. – Т. 506, № 2. – С. 243–247. – DOI: 10.31857/S2686739722600928. – EDN: YXBJNY
3. **Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г.** Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). – Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – 186 с.
4. **Алёшин И.М.** Построение решения обратной задачи по ансамблю моделей на примере инверсии приемных функций // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 496, № 1. – С. 63–66. – DOI: 10.31857/S2686739721010047. – EDN: FTODPX

АПРОБАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SES ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО СЕТИ СТАНЦИЙ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ACROSS

Т. Алтынбек у., А.К. Шаршебаев, А.В. Зубович, к.ф.-м.н., П.А. Иманалиева
ЦАИИЗ, г. Бишкек, Кыргызстан

В 2017 г. в рамках проекта ACROSS совместно с Германским центром исследований Земли (г. Потсдам, Германия (GFZ)) на территории Кыргызской Республики было установлено 18 станций сильных движений. Станции оснащены акселерометрами Титан-4G и дигитайзерами Центавр, данные передаются в центр сбора и обработки данных GFZ и ЦАИИЗ, откуда доступны потребителям по протоколу SeedLink. Задача сети сильных движений ACROSS – раннее предупреждение о землетрясениях для крупных городов Кыргызстана. Обработка и интерпретация данных ведется в автоматическом режиме программой PRESTO (PRobabilistic and Evolutionary early warning SysTem) [1], в которой реализован алгоритм формирования ранних предупреждений о землетрясениях. Программа PRESTO работает в режиме, близком к реальному времени.

За четыре года эксплуатации программы PRESTO был замечен ряд недостатков, в т.ч. большое количество ложных срабатываний. За время эксплуатации их число составило 72 на 180 обнаруженных реальных событий. Магнитуда по объемным волнам, рассчитываемая PRESTO, не согласуется с данными других сейсмологических центров, программа не обнаружила три сильных местных землетрясения с магнитудами 4.5–5.0.

По результатам эксплуатации программы PRESTO было принято решение создать собственную программу обработки данных ACROSS для раннего предупреждения с учетом особенностей сети Кыргызской Республики. Такая программа была создана в ЦАИИЗ в 2023 г. и получила название SES (Сейсмикалык Эскертуу Системасы).

Программа SES получает данные сети ACROSS по протоколу SeedLink. Задержка прихода данных составляет, как правило, не более 2–4 с. Цифровая фильтрация и анти-алиасинг вносят добавочную задержку в 1.2 с. Программа осуществляет детектирование вступлений сейсмических волн с помощью модифицированного алгоритма STA/LTA (длина окна STA – 4 с), а в случае обнаружения достаточного количества вступлений (трех очень сильных или шести прочих) производит локацию землетрясения по фазам P-волн. Таким образом, задержка между фактом землетрясения и выдачей предупреждения составит для очень сильных землетрясений не более 10 с после прихода P-волны на третью по счету станцию, а для землетрясений меньшей силы – на шестую станцию.

Для локации используется модифицированный алгоритм – комбинация поиска на сетке и минимизации невязки времени в очаге, применяется специальная процедура проверки того факта, что землетрясение произошло на удалении от сети станций.

В настоящее время SES находится на опытной эксплуатации в режиме реального времени. За период с 20.05.2023 г. по 04.06.2023 г. система обнаружила 32 землетрясения с магнитудами от 2.7 до 5.2, все ее срабатывания соответствовали реальным событиям. За тот же период программа PRESTO сработала три раза, из них два раза ложно.

В каталоге Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики за тот же период времени содержатся параметры 15 землетрясений с магнитудами от 3.1 до 5.1.

Таким образом, программа SES показала, что способна стать ядром системы раннего предупреждения о землетрясениях для Кыргызской Республики после калибровки магнитуд и чувствительности и реализации подсистемы оперативной рассылки сообщений о землетрясениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pesaresi D., Picozzi M., Živčić M., Lenhardt W., Mucciarelli M., Elia L., Aldo Z., Gosar A.* A cross-border regional earthquake early warning system: PRESTo@ CE3RN // *Natural Hazards.* – 2017. – V. 86, N 2. – P. 431–440. – DOI: 10.1007/s11069-016-2695-0

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ МИКРОСЕЙСМ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ

С.М. Аммосов, к.ф.-м.н., А.В. Калинина, к.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва

При проведении работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР) регистрация микросейсм применяется для определения приращения сейсмической интенсивности и оценки резонансных характеристик грунтов. Изначально для определения приращения сейсмической интенсивности использовался метод микросейсм, основанный на расчете спектральных амплитудных отношений между отдельными станциями, установленными в пределах исследуемой площадки. Широкому применению метода микросейсм способствует его дешевизна. Недостатком метода считается его невысокая точность, обусловленная сложностью учета многочисленных локальных помех и необходимостью контролировать идентичность характеристик регистрирующих каналов.

В последнее время в задачах сейсмического микрорайонирования стал активно применяться метод расчета отношений амплитуд спектров Фурье горизонтальных и вертикальных компонент (метод Н/V) как для изучения резонансных характеристик грунтовой толщи, залегающей на жестком (скальном) основании, так и для оценки относительного усиления колебаний за счет изменения грунтовых условий [1]. По сравнению с методом регистрации микросейсм, для метода Н/V не нужно учитывать различия в характеристиках измерительных приборов. Однако для оценки приращения сейсмической интенсивности корректность получаемых результатов будет соблюдена только при выполнении положенных в основу метода предположений:

1 – амплитуды горизонтальных и вертикальных компонент для скальных грунтов практически идентичны, т.е. их отношение примерно равно 1;

2 – для вертикальной компоненты усиление колебаний происходит в основном за счет поверхностных волн Релея, а при отсутствии поверхностных волн отношение вертикальных компонент для эталонных и локальных грунтов также стремится к единице.

Проведенные экспериментальные наблюдения микросейсм на эталонных грунтах показали, что амплитуда отношения Н/V варьирует в течение суток, поэтому при использовании одной станции желательнее проводить измерения примерно в одно и то же время, чтобы уровень фона регулярных помех был стабилен. Но для более корректных оценок приращения балльности рекомендуется использовать записи станции, установленной на постоянную регистрацию на эталонных грунтах, для корректировки суточных вариаций [2].

Оценка резонансных характеристик грунтов совместно со скоростными характеристиками позволяет уточнять структурные особенности геологического разреза для дальнейшего построения сейсмогеологической модели среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nakamura Y.* A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. – 1989. – V. 30 (1). – С. 25–33.
2. *Калинина А.В., Аммосов С.М., Татевосян Р.Э., Быкова В.В.* Метод Н/V в задачах сейсмического микрорайонирования // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2022. – Т. 49, № 4. – С. 105–116. – DOI: 10.21455/VIS2022.4-7. – EDN: NLBLEQ

ОЦЕНКА ВНУТРЕННЕГО ПОГЛОЩЕНИЯ И РАССЕЙНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО АЛТАЯ

В.В. Арапов
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Алтае-Саянская складчатая область – один из наиболее сейсмически активных регионов России. Наличие большого количества стационарных сейсмических станций и временной сети обеспечили высокоточные данные о гипоцентрах землетрясений [1] и скоростной модели среды [2].

Регистрация большим количеством станций Айгулакского (13.09.2019 г.) и Чуйского (27.09.2003 г.) землетрясений, а также их афтершоков [3] использовалась для оценки добротности и ее составляющих. Сейсмические волны могут затухать не только из-за геометрического расхождения волнового фронта, но и из-за рассеяния на неоднородностях среды и поглощения вследствие потерь внутренней энергии. Метод Веннерберга [4] позволяет оценить вклад поглощения Q_i^{-1} и рассеяния Q_{sc}^{-1} в общее затухание Q_T^{-1} . Используемый в данной работе метод инверсии огибающей коды [5] заключается в минимизации невязки между функциями Грина наблюдаемой и рассчитываемой огибающей плотности энергии в определенном диапазоне частот, реализованный в программном пакете Qorep [6].

Анализ полученных компонент и общего затухания для разных структур Горного Алтая позволяет оценить вклад каждой компоненты общего затухания для различных типов структур и выявить ряд закономерностей.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В.** Устойчивые структуры афтершоков Чуйского землетрясения 2003 г. // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 1. – С. 87–101. – DOI: 10.15372/GiG2020176. – EDN: FYBZVV
2. **Еманов А.А., Лескова Е.В.** Строение эпицентральной зоны Чуйского (Горный Алтай) землетрясения по данным метода сейсмической томографии с двойными разностями // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9, № 1. – С. 45–50. – EDN: IJGIRB
3. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г., Дураченко А.А., Гладышев Е.А., Ершов Р.А., Полянский П.О.** Эпицентральные зоны Чуйского 2003 г. и Айгулакского 2019 г. землетрясений // Землетрясения России в 2021 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 133–137.
4. **Wennerberg L.** Multiple-scattering interpretations of coda-Q measurements // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1993. – V. 83, N 1. – P. 279–290. – DOI: 10.1785/BSSA0830010279
5. **Sens-Schönfelder C., Wegler U.** Radiative transfer theory for estimation of the seismic moment // Geophysical Journal International. – 2006. – V. 167, N 3. – P. 1363–1372. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.2006.03139.x
6. **Eulendorf 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. – DOI: 10.1093/gji/ggw035

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В СТРУКТУРЕ БЕЛОРУССКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

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

На основе анализа достигнутых результатов научных исследований прошлых лет, полученных в ходе деятельности ряда Белорусских антарктических экспедиций, было принято решение о расширении круга задач в рамках мероприятий по научному обеспечению действующей подпрограммы: «Развитие деятельности Белорусской антарктической станции» Государственной программы: «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021–2025 гг. С этой целью в подпрограмму было включено новое направление исследований: развертывание в районе расположения Белорусской антарктической станции (БАС) сейсмологических наблюдений с установкой аппаратного комплекса для изучения региональных сейсмических процессов, особенностей проявления местной сейсмичности, глубинного строения геологической среды, динамики гляциологической активности.

БАС базируется в районе Вечернегорской площади в западной части Земли Эндерби на северо-востоке Антарктического континента. Географические координаты станции БАС: $\varphi=67^{\circ}39'35''S$, $\lambda=46^{\circ}09'18''E$. В тектоническом отношении Земля Эндерби располагается в пределах северо-восточной части Восточно-Антарктической платформы [1].

Сейсмологические наблюдения выполнялись аппаратным комплексом на основе двух датчиков – короткопериодного трехкомпонентного сейсмометра LE-3Dlite и широкополосного трехкомпонентного сейсмометра LE-3D/20s [2], регистратора сейсмических сигналов Дельта-03 [3] и вспомогательного оборудования.

Система обработки сейсмических данных основана на программном комплексе WSG [4] и дополнительном пакете компьютерных программ, разработанном в Центре геофизического мониторинга НАН Беларуси, которые обеспечивают выполнение следующих функций: сбор информации; запись и контроль качества данных; управление обработкой; проведение расчетов; хранение волновых форм и обработанных данных; организация связи между процедурами обработки.

По результатам обработки записей за период с 3 января по 30 марта 2023 г. составлен бюллетень сейсмической станции и каталог с информацией о 236 далеких, одном региональном и 13 местных землетрясениях. В процессе наблюдений были также зарегистрированы 11 обрушений айсбергов и 23 микрособытия, которые возможно связаны с ударами и разрывами в ледяном покрове в районе расположения Белорусской антарктической станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Boger S.D.* Antarctica – Before and after Gondwana // Gondwana Research. – 2011. – V. 19, Is. 2. – P. 335–371.
2. *Техническая документация фирмы «Lennartz electronic GmbH» / LE-xD Seismometer Family*, DN: 990-0073. – Tübingen, Germany, 2012. – 30 с.
3. *Регистратор сейсмических сигналов «Дельта-03» / Руководство по эксплуатации*. ИТЛЯ.416611.004 РЭ. – М., 2007. – 20 с.
4. *Акимов А.П., Красилов С.А.* Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020 г. – EDN: ПЮVUE

О ТОЧНОСТИ ЛОКАЦИИ МЕСТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

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

Локализация землетрясения – до сих пор одна из основных сейсмологических задач, от результатов решения которой зависит успешность исследований многих проблем.

В данной работе проводилось тестирование программных средств для определения кинематических параметров очагов местных сейсмических событий с использованием данных модельных расчетов и данных регистрации взрывов по профилю «Георифт-2013» локальной сетью наблюдений в Солигорском горнопромышленном районе. Для расчетов использовался скоростной разрез, приведенный в статье [1]. Для проведения экспериментальных расчетов и тестирования были использованы известные программные комплексы Нуро71, HYPOSAT, SEISAN, SeisComP и программные разработки Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси [2].

Была проведена оценка влияния параметров источника, среды и локальной сети на точность локализации очага, в том числе рассматривались случайные и систематические ошибки.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аронов А.Г., Колковский В.М.* К расчету регионального годографа сейсмических волн запада Восточно-Европейской платформы // Сейсмологический бюллетень сети сейсмических станций Беларуси за 1993 г. – Минск: Институт геологических наук АНБ, 1996. – С. 130–134.
2. *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2)* // IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam / Ed. P. Bormann. – 2012 [Электронный ресурс]. – URL: <http://nmsop.gfz-potsdam.de>. – DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС SEISCOMP-5 В СИСТЕМЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЕЛАРУСИ

А.Г. Аронов, д.ф.-м.н., В.А. Беляева, А.А. Куревич,
А.А. Левченко, Ю.В. Маргинович, К.В. Терещенко
ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Современные требования к функционированию системы сейсмологического мониторинга связаны с необходимостью обеспечения сбора, обработки, архивации и хранения данных, а также оперативным взаимодействием с другими центрами сбора сейсмических данных, например, с региональными центрами, в зоне влияния которых находится данная сеть [1]. Сегодня наиболее востребованными и перспективными являются программные комплексы, объединяющие в себе модули для решения вышеперечисленных задач в автоматическом режиме: от процесса регистрации сейсмического сигнала до визуализации, анализа и передачи данных. Кроме того, большим преимуществом является наличие открытого исходного кода данного программного обеспечения, что позволяет его развивать и адаптировать под собственные задачи. В качестве такого программного обеспечения в Центре геофизического мониторинга НАН Беларуси подготавливается к внедрению в службу обработки комплекс SeisComP версии 5.4.0 [2], который сейчас активно используется в Европе, международных центрах сейсмических данных и, кроме того, имеет активно развивающееся сообщество пользователей и новые модули.

Выполнена настройка программного обеспечения SeisComP-5 в структуре сети сейсмологических наблюдений в Беларуси с использованием стандартизированного способа хранения данных в формате MiniSEED и передачи, основанной на применении протокола SeedLink. Проведены экспериментальные работы по обработке с привлечением данных международных сетей, в том числе по локализации телесеismicких и региональных событий, проверке алгоритмов автоматического определения событий, построению фокальных механизмов и др.

Проводятся работы по адаптации программного комплекса SeisComP-5 для локальных систем сейсмологического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бутырин П.Г., Красилов С.А.* Единая система хранения и доступа к геофизическим данным. Традиции и новые подходы // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 4. – С. 77–87. – DOI: 10.35540/2686-7907.2021.4.05. – EDN: MEFWKZ
2. *The documentation for the SeisComP version 5.4.0* // SeisComP 5.4.0 [Site]. – URL: <https://www.seiscomp.de/doc/>

НЕКОТОРЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА

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

В настоящее время в практике сейсмологического мониторинга применяется отлаженная система процесса обработки данных. Однако из-за неоднозначности формализации процедур обработки данных некоторые компоненты этой системы требуют дополнительных методических разработок. Это становится возможным благодаря созданию алгоритмов выделения полезного сигнала на фоне сейсмических помех и определения моментов вступления фаз сейсмических волн.

Данная работа посвящена алгоритмам в структуре автоматизированной системы сейсмологического мониторинга, которые предназначены для реализации их в специализированных программных средствах с целью повышения эффективности и оперативности контроля сейсмической обстановки, принятия управленческих решений и применения в системе ситуационных кризисных центров. Работа заключалась в разработке алгоритма, основанного на оценке поведения определенных расчетных функционалов, из которых наиболее известный – соотношение STA/LTA. Алгоритм на основе этого соотношения рассматривается как в своем первоначальном варианте [1, 2], так и в различных модификациях, так, например, в [3] – при расчете соотношения для фрактальных размерностей.

Показано, что при вступлении фазы сейсмической волны меняется статистический характер сейсмограммы – нормальное распределение, соответствующее сейсмическому шуму, сменяется негауссовским поведением, что позволяет использовать статистические величины типа коэффициентов асимметрии, эксцесса [4] и характеристические функции, построенные на их основе [5], для определения момента вступления сейсмической фазы на пункт регистрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Freiberger W.** An approximate method in signal detection // Quarterly of Applied Mathematics. – 1963. – V. 20, N 4. – P. 373–378. – DOI: 10.1090/qam/139498
2. **Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm** [Электронный ресурс]. – URL: https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_4097/component/file_4098/content
3. **Zhang J., Tang Ya., Li H.** STA/LTA Fractal dimension algorithm of detecting the P-wave arrival // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2018. – V. 108. – P. 230–237. – DOI: 10.1785/0120170099
4. **Saragiotis Ch.D., Hadjileontiadis L.J., Panas S.M.** PAI-S/K: A Robust automatic seismic P phase arrival identification // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2002. – V. 40. – P. 1395–1404. – DOI: 10.1109/TGRS.2002.800438
5. **Kuperkoch L., Meier T., Lee J., Friederich and EGELADOS Working Group.** Automated determination of P-phase arrival times at regional and local distances using higher order statistics // Geophysical Journal International. – 2010. – V. 181. – P. 1159–1170. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04570

ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ДАЛЕКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СИСТЕМЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЕЛАРУСИ

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

6 февраля 2023 г. на юго-востоке Турции в районе городов Газиантеп и Кахраман-мараш произошли два разрушительных землетрясения, магнитуды которых оцениваются, соответственно, в $M=7.7$ и $M=7.6$ согласно сведениям департамента чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий Турции. Эта работа посвящена построению механизмов очагов этих землетрясений и сильных афтершоков с 06.02.2023 г. по 19.04.2023 г., которые были зарегистрированы сейсмическими станциями Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси, и их записи обработаны программным комплексом SeisComP-5. Для построения механизмов очагов землетрясений в Турции были привлечены данные белорусских станций NAR (геофизическая обсерватория «Нарочь») и МПК (геофизическая обсерватория «Плещеницы»), а также данные международных станций на эпицентральных расстояниях от 7 до 145° с баз данных открытого доступа (<https://geofon.gfz-potsdam.de/>; <https://www.iris.edu/hq/sage>). Для землетрясений с магнитудой $M \geq 4$ (41 событие) были определены механизмы очагов по знакам первых вступлений продольных волн. Анализ результатов показал, что параметры построенных механизмов очагов совпадают с данными международных центров GEOFON (GFZ German Research Center for Geosciences) и USGS (U.S. Geological Survey).

Для очагов землетрясений, приуроченных к различным зонам разломов, были определены дислокации, характерные для этих зон, в том числе: для разломной зоны Малатья преобладающим является сдвиговый тип; Эльбистанская зона разлома характеризуется сдвигом со сбросовой составляющей; Козанская зона разлома – сдвиг со взбросовой составляющей; к Андиринской зоне разлома было отнесено одно событие со сбросовым типом механизма очага. В зонах разломов Делилер–Течер и Эджемис преобладает сдвиговый тип механизма очага, к Тебризской зоне было отнесено одно событие со взбросовым типом механизма очага. В зоне сочленения разлома Мёртвого моря и Восточно-Анатолийского разлома (побережье Средиземного моря) преобладает сбросовый тип механизма со сдвиговой составляющей. При этом северный участок разлома Мёртвого моря характеризуется сбросовым типом механизма очага, а Восточно-Анатолийский разлом в основном характеризуется сдвиговым типом очага [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вольфман Ю.М., Гинтов О.Б., Колесникова Е.Я., Муровская А.В.* Тектонофизическая интерпретация механизмов очагов землетрясений системы Загрос // Геодинамика и тектонофизика. – 2014. – Т. 5, № 1. – С. 305–319. – DOI: 10.5800/GT-2014-5-1-0129. – EDN: SFQYYH

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В БЕЛАРУСИ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

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

Сейсмологические наблюдения в Центре геофизического мониторинга НАН Беларуси проводятся в составе геофизических обсерваторий «Нарочь» и «Плещеницы» в широком диапазоне энергий и эпицентральных расстояний и двух локальных сейсмологических сетей, расположенных в Солигорском горнопромышленном районе (восемь пунктов наблюдений), где проявляется индуцированная сейсмичность, и в районе размещения Белорусской АЭС (восемь пунктов наблюдений) в западной части Беларуси. Сейсмологические наблюдения интегрированы в Систему мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера Республики Беларусь и Национальную систему мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [1, 2].

В настоящее время проводится модернизация сети наблюдений, связанная с заменой регистраторов сейсмических сигналов, и, в связи с этим, проходит процесс адаптации программного комплекса SeisComP и обучение персонала для сейсмологической службы. SeisComP является наиболее распространенным программным пакетом для мониторинга сейсмичности в режиме, близком к реальному времени. Программный комплекс обеспечивает автоматический и интерактивный сбор данных, обработку и возможность подключения сейсмических станций других сетей, что очень важно в условиях достаточно редкой сети наблюдений в западной части Восточно-Европейской платформы.

В 2023 г. начались сейсмологические наблюдения в структуре Белорусской антарктической станции, которая расположена в западной части Земли Эндерби. Полученные сейсмологические данные позволят изучить местную и региональную сейсмичность на Антарктическом континенте, динамику ледникового покрова, внутреннее строение геологической среды, а также будут использованы в международной сети мониторинга по изучению глобальной сейсмичности Земли.

ЛИТЕРАТУРА

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

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОСТОЧНОГО РУДНИКА КФ АО «АПАТИТ»

¹В.Э. Асминг, к.ф.-м.н., ¹И.С. Федоров, ²А.Ю. Моторин
¹КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты
²КФ АО «Апатит», г. Кировск

В 2020 г. в Хибинском горном массиве на территории Восточного рудника Кольского филиала АО «Апатит» была установлена сеть из 11 короткопериодных сейсмометров, охватывающая карьеры «Коашва» и «Ньюрпакх». Используются велосиметры HS-1, подключенные к регистраторам сейсмических сигналов «Ермак-5». Данные передаются в центр сбора и обработки в реальном времени с помощью сотовой связи по протоколу SeedLink. Для питания сейсмических станций используются автономные системы, основанные на ветрогенераторах.

Поступающие данные записываются в кольцевые дисковые буферы, после чего автоматически обрабатываются. На первом этапе производится обработка по отдельным станциям. Данные каждой станции обрабатываются своей отдельной копией программы одностанционной обработки vNSS, которая генерирует список фрагментов данных, в которых, возможно, имеются записи сейсмических событий. Оцениваются возможные моменты прихода *P*- и *S*-волн, для первой используется алгоритм STA/LTA, для второй – подход, основанный на анализе целостного объекта, подобный известному в гештальт-психологии [1].

На втором этапе списки – результаты работы копий программы – поступают в программу ассоциации vNAS, которая производит окончательную локацию событий по нескольким станциям, оценивает их магнитуды и сейсмические энергии, создает бюллетень в формате HTML, который выкладывается в Интернет. Также сохраняются фрагменты волновых форм с записями обнаруженных событий в формате CSS 3.0.

Результаты работы vNAS верифицируются обработчиками с помощью программы интерактивной обработки сейсмических записей LOS [2]. Происходит отбраковка ложных срабатываний, в случае ошибок автоматической системы производится ручная локация событий. В наиболее интересных и сложных случаях ручная локация выполняется с помощью стохастического графа [2, 3] с учетом рельефа и пустого пространства, образовавшегося после выемки породы.

В результате работы системы за период 2020–2022 гг. были обнаружены зоны проявления естественной сейсмичности на территории мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асминг В.Э., Федоров А.В., Корчак П.А., Моторин А.Ю.* Программный комплекс для мониторинга сейсмичности Хибинского горного массива LORS2: принципы построения и основные алгоритмы // Сейсмические приборы. – 2020. – Т. 56, № 2. – С. 39–55. – DOI: 10.21455/si2020.2-4. – EDN: XVAVVD
2. *Асминг В.Э., Федоров А.В., Прокудина А.В.* Программа для интерактивной обработки сейсмических и инфразвуковых записей LOS // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 27–40. – DOI: 10.35540/2686-7907.2021.1.02. – EDN: XGDDLG
3. *Асминг В.Э., Виноградов Ю.А., Прокудина А.В.* Моделирование сейсмической локации в трехмерных средах // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16, № 4. – С. 644–649. – EDN: RRVISX

О СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ РЕГИОНА АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ

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

Данное исследование посвящено детализации некоторых районов ранее построенной автором карты сейсмической опасности Баренцева моря [1]. В 2016 г. опубликованы новые карты ОСР России, однако прилегающие акватории не были охвачены. Регион Баренцева моря, а особенно Печорское море, является потенциально нефтегазоносным и важным для промышленного освоения, поэтому знание уровня его сейсмической опасности необходимо. В последние годы здесь открываются новые месторождения, кроме того, появляются новые сейсмологические данные, позволяющие уточнить ранее полученные результаты. В [2] опубликован каталог землетрясений региона Новая Земля с 1992 по 2020 г., который в процессе исследований был дополнен сейсмическими событиями, начиная с 1973 года.

Оценка максимальных ожидаемых движений грунта на вероятностной основе проведена с использованием системы CRISIS2014 [3]. Построение карт вероятностной сейсмической опасности, как обычно, осуществлено в терминах максимальных ускорений движений грунта PGA для периодов повторяемости 500, 1000 и 5000 лет (10, 5 и 1% вероятности превышения в ближайшие 50 лет). Сейсмически опасным является только сам архипелаг, а перспективные нефтегазоносные районы вокруг можно считать спокойными.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ассиновская Б.А.* Оценка сейсмической опасности Баренцевоморского региона // Инженерные изыскания. – 2021. – Т. 15, № 1–2. – С. 76–88. – DOI: 10.25296/1997-8650-2021-15-1-2-76-88. – EDN: ACAADI
2. *Kværna T., Dando B.D.E., Gibbons S.J.* Seismic monitoring of Novaya Zemlya: Progress, challenges, and prospects // Seismological Research Letters. – 2023. – V. 94, N 3. – P. 1495–1508. – DOI: 10.1785/0220220338
3. *Ordaz M., Faccioli E., Martinelli F., Aguilar A., Arboleda J., Meletti C., D'Amico V.* Program for computing seismic hazard // R-CRISIS [Site]. – 2017. – URL: <http://www.r-crisis.com/>

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ХИБИН

¹С.В. Баранов, д.ф.-м.н., ^{1,2}А.Ю. Моторин, ^{1,3}С.А. Жукова, к.т.н.
¹КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты
²КФ АО «Апатит», г. Кировск
³ГОИ КНЦ РАН, г. Апатиты

По данным многолетнего сейсмического мониторинга, проводимого Кировским филиалом (КФ) АО «Апатит» на апатит-нефелиновых месторождениях Хибинского массива [1], были обнаружены сезонные вариации продуктивности природно-техногенных землетрясений. Под продуктивностью понимается число сейсмических событий, инициированных другим более ранним землетрясением. Ранее в [2, 3] было показано, что это число подчиняется экспоненциальному распределению с плотностью:

$$f(x) = \frac{1}{\Lambda_{\Delta M}} e^{-x/\Lambda_{\Delta M}}, \quad (1)$$

где $\Lambda_{\Delta M}$ – среднее число событий с магнитудой $M \geq M_m - \Delta M$, инициированных триггерами с магнитудой M_m . Параметр $\Lambda_{\Delta M}$ называется фактором кластеризации, при $\Lambda_{\Delta M} = \text{const}$ значения $\Lambda_{\Delta M}$ не зависят от магнитуды событий-триггеров M_m . Для природно-техногенной сейсмичности Хибин $\Lambda_{1.5} = 2.7$ при $M_m \geq 1.5$ [3]. Распределение (1) (закон продуктивности) выполняется независимо от глубины и магнитуды события-триггера.

Было установлено, что продуктивность природно-техногенных землетрясений в мае-октябре ($\Lambda_{1.5} = 2.8 \pm 0.2$ (стандартная ошибка)) выше, чем в январе-апреле и ноябре-декабре (2.3 ± 0.19). Согласно критерию Стьюдента, эти различия значимы на 5%-ном уровне.

Согласно данным о водопритоках на месторождениях Хибинского массива, предоставленных КФ АО «Апатит», в период с мая по октябрь наблюдается высокая обводненность Хибинского массива, обусловленная таянием накопившегося за зиму снега и осадками в летне-осенний период. В период с января по апрель и ноябрь, декабрь наблюдается низкая обводненность.

Таким образом, более высокая продуктивность природно-техногенных землетрясений в Хибинах приходится на период высокой обводненности массива. Это связано с тем, что при росте обводненности происходит рост порового флюидного давления в тектонически нарушенных зонах массива и, как следствие, изменение физико-механических свойств горных пород. По той же причине в период высокой обводненности наблюдается активизация сейсмичности [4].

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 22-27-20125).

ЛИТЕРАТУРА

1. Корчак П.А., Жукова С.А., Меньшиков П.Ю. Становление и развитие системы мониторинга сейсмических процессов в зоне производственной деятельности АО «Апатит» // Горный журнал. – 2014. – № 10. – С. 42–46. – EDN: TMJOWD
2. Shebalin P.N., Narteau C., Baranov S.V. Earthquake productivity law // Geophysical Journal International. – 2020. – V. 222, N 2. – P. 1264–1269. – DOI: 10.1093/gji/ggaa252
3. Баранов С.В., Жукова С.А., Корчак П.А., Шебалин П.Н. Продуктивность техногенной сейсмичности // Физика Земли. – 2020. – № 3. – С. 40–51. – DOI: 10.31857/S0002333720030011. – EDN: NKPGYE
4. Козырев А.А., Батугин А.С., Жукова С.А. О влиянии обводненности массива на его сейсмическую активность при разработке апатитовых месторождений Хибин // Горный журнал. – 2021. – № 1. – С. 31–36. – DOI: 10.17580/gzh.2021.01.06. – EDN: FICHPW

СЕЙСМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СМР НА ПЛОЩАДИ ЛОМОНОСОВСКОГО ГОКА

¹И.М. Басакина, к.т.н., ¹Г.Н. Антоновская, д.т.н., ²А.М. Царев, ¹Е.М. Игнатчик
¹ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск
²ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень

Метод сейсмических жесткостей является обязательным при проведении сейсмического микрорайонирования на объектах всех классов [1]. Полевые замеры выполняются с применением сейсморазведочной аппаратуры. Отметим некоторые особенности при планировании таких работ. Во-первых, объекты находятся на разной стадии развития: проектируемые, строящиеся, реконструируемые или разного класса ответственности, например, гидротехнические сооружения. Во-вторых, наличие слабоустойчивых или низкоскоростных отложений, например, илов под высокоскоростными отложениями требует применения более трудоемких методов: ОГТ МОВ или вертикального сейсмопрофилирования. В-третьих, количество точек сейсморазведочных наблюдений назначается в зависимости от масштаба карты сейсмического микрорайонирования, категории сложности инженерно-геологических условий и развития опасных процессов [2]. Но, зачастую, выполнение работ зависит от транспортной доступности на участке, климатических условий, погоды и др. факторов. В-четвертых, это выбор эталонных грунтов для оценки величины приращения сейсмической интенсивности к типам грунтовых комплексов площадки исследования.

Работы проводились на площадке реконструкции хвостового хозяйства Ломоносовского ГОКа предприятия ПАО «Севералмаз», находящейся 110 км от г. Архангельска. На объекте выполнены скважинные наблюдения по методике вертикального сейсмического профилирования (ВСП), наземные исследования на поперечных отраженных волнах (*SH*-волнах) и методом преломленных волн (МПВ). Метод МОВ и ВСП применялись в силу сложности расчленения верхней толщи геологического разреза и проявлением карстово-суффозионных процессов на участке исследований [3]. Максимальная количественная оценка приращений сейсмической интенсивности (ΔI_c) по методу сейсмических жесткостей на исследуемой площади равна 0.25. Значения полученных пластовых скоростей поперечных волн (V_s) и результатов расчетов сейсмической жесткости, которые попадают в пределы значений от 942.6 до 1336 г/см³м/с, соотносятся с грунтами II–III категории.

Отработан малозатратный подход применения метода сейсмических жесткостей для получения необходимой расчетной информации. Данный подход рекомендуется к применению при проведении СМР на труднодоступных площадках исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *СП 286.1325800.2016*. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования. – М.: Стандартинформ, 2017. – 33 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456085879>
2. *РСН 60-86*. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000686>
3. *Дубинин М.В.* Поиски немагнитных источников алмазов и оценка перспектив россыпей алмазности в районе трубки «Пионерская» / Отчет о результатах поисков месторождений алмазов в районе трубки «Пионерская». Пионерский отряд 1986–1991 гг.

МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

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

Организация, проведение и обработка данных сейсмического мониторинга являются неотъемлемой частью контроля геодинамических процессов, прогнозирования и снижения риска проявления чрезвычайных геодинамических ситуаций, в том числе инициированных техногенной деятельностью.

При проведении микросейсмического мониторинга в ансамбле сейсмических событий могут быть выделены как обычные, так и «медленные» землетрясения. Данные типы событий различаются тем, что при одном и том же реализованном сейсмическом моменте значения излученной сейсмической энергии могут отличаться на несколько порядков [1, 2]. В основе предложенного подхода к анализу микросейсмичности лежит оценка величины приведенной сейсмической энергии (отношение сейсмической энергии к скалярному сейсмическому моменту) и, соответственно, скорости распространения разрыва. Основываясь на этом параметре, можно судить о вероятности реализации накопленной в массиве упругой энергии в виде динамических событий.

Проведенный анализ сейсмических данных, зарегистрированных на глубине около 300 м в районе проведения работ на железорудной шахте им. Губкина Курской магнитной аномалии, позволил определить основные характеристики слабых сейсмических сигналов, которые были инициированы взрывными работами. Оценка полученных параметров сейсмических событий в совокупности с исследованием масштабных соотношений позволила достаточно детально изучить процессы, происходящие в очаге. Для зарегистрированных событий были определены очаговые параметры и установлены эмпирические корреляционные зависимости между скалярным сейсмическим моментом и излученной энергией. Более низкие медианные значения скорости распространения разрыва отмечены для событий, приуроченных к зоне разлома, в отличие от событий, источники которых располагались на удалении от разлома, что свидетельствует о влиянии минералогического состава разломной зоны и заполнителя трещин на сейсмогенность участка разломной зоны.

Данные о параметрах и масштабе геодинамических событий, зафиксированных в области ведения горных работ, следует учитывать при принятии решений об удароопасности или склонности к горным ударам горного массива шахты.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 22-17-00204).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кочарян Г.Г.* Геомеханика разломов. – М.: ГЕОС, 2016. – 424 с. – EDN: YVWLRV
2. *Беседина А.Н., Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г.* Параметры источников роя микросейсмических событий, инициированных взрывом на Коробковском железорудном месторождении // Физика Земли. – 2021. – № 3. – С. 63–81. – DOI: 10.31857/S0002333721030030. – EDN: RIPARW

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТУРКМЕНИСТАНА И СЕВЕРНОГО ИРАНА, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ С 1964 ПО 2011 Г.

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

Рассматриваются некоторые аспекты сейсмичности Туркменистана и прилегающей к нему территории Северного Ирана на основе бюллетеня ISC за период с 1964 по 2011 год. Всего бюллетень за этот период содержит около 325 событий с магнитудой больше 2.5 (всего за период с 1964 по 2021 г. бюллетень ISC содержит данные примерно о 6000 событиях). Указанный период не является полным, но, тем не менее, позволяет сделать некоторые выводы относительно распределения гипоцентров на территориях Туркменистана и северо-восточной части Ирана.

По вопросам сейсмичности территории Туркменистана и северо-востока Ирана к настоящему времени опубликовано не так много работ. В то же время некоторые районы Туркменистана отличаются высокой сейсмичностью, наряду с наиболее сейсмоактивными зонами бывшего СССР. Достаточно упомянуть знаменитое разрушительное Ашхабадское землетрясение, которое произошло 5 октября 1948 года. Анализ сейсмичности Туркменистана и Северного Ирана облегчает понимание геодинамических процессов, происходящих в недрах Земли на этих территориях.

По геологическим и сеймотектоническим признакам территорию Туркменистана можно разделить на три района: Прикопетдагский район (Центральная Туркмения); Красноводский район (Западная Туркмения); Восточная Туркмения [1]. Согласно результатам наблюдений за землетрясениями, наиболее высокая сейсмическая активность отмечается в районах Западной Туркмении, Ашхабадском и граничащим с ним на юге Ширван-Кучанском районе (провинция Хорасан) в Северном Иране [2].

В докладе на основе бюллетеня землетрясений ISC рассмотрены два аспекта сейсмичности Туркменистана и Северного Ирана – график повторяемости землетрясений и распределение гипоцентров землетрясений за период 1964–2011 гг.

Как показывает анализ графика повторяемости землетрясений, построенный по данным бюллетеня ISC, представительными являются события с магнитудой 4.0 и больше. Таким образом, сейсмологическая сеть Туркмении регистрирует без пропусков события с магнитудой больше 4.0. Начиная с магнитуды 4.0, график приобретает практически линейную форму. Наклон графика повторяемости b равняется -1.90 , а свободный член $a \approx 14.18$.

Распределение гипоцентров землетрясений по глубинам за период 1964–2011 гг., по нашим расчетам, существенно отличается от распределения по данным ISC. В отличие от данных ISC, согласно которым основная масса очагов землетрясений расположена до глубин 20 км и небольшая их часть – на глубинах до 100 км, по нашим данным очаги землетрясений располагаются более равномерно до глубин 600 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сейсмичность Туркмении* / Отв. ред. Р.Д. Непесов. – Ашхабад: Изд-во «Ылым», 1968. – 201 с.
2. *Рустанович Д.Н.* Сейсмичность территории Туркменской ССР и Ашхабадское землетрясение 1948 г. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1967. – Вып. 12. – 95 с.

ОПЫТ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ РАЙОНА СЕВЕРНОЙ ЯКУТИИ

**В.В. Быкова, к.ф.-м.н., Р.Н. Вакарчук, И.В. Матвеев,
А.Г. Михин, Л.Д. Николаев, Р.Э. Татевосян, д.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва**

Район исследования представляет собой довольно обширную территорию в междуречье Лены и Индигирки на севере Якутии, орографически представленную Яно-Индигирской низменностью с ее южным горным обрамлением северными отрогами хребтов Черского и Верхоянского. Ее размер составляет приблизительно 600×600 км.

На примере проведения вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) для этого района обсуждаются фундаментальные аспекты ВАСО [1]. Особое внимание уделяется сбору исходных данных, в частности, составлению сейсмологической базы данных. Эта территория до сих пор была слабо изучена в сейсмическом отношении в силу ее удаленности от населенных пунктов. Тем не менее, в печатных изданиях прошлого имеется информация об ощутимых землетрясениях в ее пределах, далеко не всегда попадавших в сейсмические каталоги. Поэтому эту территорию нельзя считать асейсмичной. Кроме того, в данных различных сейсмологических агентств содержится информация и о более слабых землетрясениях за последние приблизительно 60 лет.

Для оценки сейсмической опасности рекомендуется собирать максимально полную базу данных о землетрясениях, на основании которой создается исходный каталог [2]. С одной стороны, это обеспечивает необходимую полноту исходных данных, с другой – порождает проблему выбора координат гипоцентра и магнитуды того или иного землетрясения из различных источников, учитывая, что они могут заметно различаться в них. В случае исторических землетрясений, параметры которых определяются на основании макросейсмических данных, для обеспечения надежности решений рекомендуется возврат к исходным описаниям макросейсмических эффектов: окончательное решение выработывается после критического анализа исходных данных, что и осуществлялось в нашем случае при создании общей базы данных. Для землетрясений инструментального периода времени, когда речь идет о тысячах сейсмических событий, возврат к исходным записям практически неосуществим. В таком случае достаточно распространенной практикой является выбор решения на основании системы приоритетов источников. Прежде чем выработать такую систему, необходимо собрать как можно более полную базу сейсмологических данных, чтобы адекватно учесть иерархию собранных источников. Информация об одном и том же сейсмическом событии может быть представлена в различных источниках: они образуют семейство решений. Всего мы использовали 43 источника, среди них были и такие, что сообщали о единичном событии.

Также был рассмотрен вопрос выделения группируемых событий в каталоге. Были проанализированы различные методы декластеризации сейсмических событий и выполнено разделение событий на сосредоточенную (групповую) и рассеянную (фоновую) составляющие.

ЛИТЕРАТУРА

1. *McGuire R.K.* Seismic Hazard and Risk Analysis. – Earthquake Engineering Research Institute Monograph MNO-10, 2004. – 221 p.
2. *IAEA Safety Guide № SSG-9* // Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. – Vienna, 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА ЭКСПЛУАТИРУЕМОЕ ЗДАНИЕ

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

Оценка величины сейсмического воздействия взрывных работ и оперативный контроль технического состояния эксплуатируемого здания, находящегося на промплощадке горнодобывающего объекта, выполняются при помощи непрерывной регистрации колебаний в основании и в верхней части несущей конструкции [1, 2].

Выполнена оценка влияния различных факторов на сейсмический эффект:

- место взрыва (борт карьера, обрабатываемый горизонт);
- приведенное расстояние;
- интервал замедления;
- направление инициирования;
- продолжительность короткозамедленного взрыва (число ступеней замедления);
- спектральная характеристика реакции грунта.

За весь период наблюдений зарегистрировано более 300 взрывов. Непрерывный инструментальный контроль позволил сделать вывод, что в основании охраняемого объекта величина максимального модуля вектора массовой скорости смещения не превысила 0.3 см/с . Несмотря на относительно низкие вибронагрузки от взрывных работ в основании объекта, в верхней части конструкции скорость смещения значительно выше (за счет резонансных эффектов амплитуда колебаний может усиливаться до 10 раз).

Для оперативного контроля технического состояния реализован непрерывный мониторинг изменения собственной (резонансной) частоты [3]. Дополнительно организован сбор макросейсмической информации с помощью онлайн анкет для работников, находящихся на верхних этажах здания.

Совместный анализ сейсмических записей и паспортов буровзрывных работ позволил сделать вывод, что на усиление колебаний наверху конструкции значительное влияние оказывает направление инициирования взрываемого блока.

В работе выполнено представление аппаратной и программной реализации системы мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

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

АФТЕРШОКОВАЯ СЕРИЯ КАТАВ-ИВАНОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 4 СЕНТЯБРЯ 2018 Г. С $M_w=5.0$ (УРАЛ)

^{1,2}Ф.Г. Верхоланцев, ³С.В. Баранов, д.ф.-м.н.,
³В.Э. Асминг, к.ф.-м.н., ²Ю.В. Варлашова
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь
²«ГИ УрО РАН», г. Пермь
³КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты

4 сентября 2018 г. в 22:58:15 в районе города Катав-Ивановска (Челябинская область) произошло землетрясение с магнитудой $M_w=5.0$ ($M_L=5.4$), $I_0=6.4$. Данное событие, возможно, является сильнейшим ($M_S \geq 5.0$) среди известных на Урале [1]. Уникальной особенностью этого землетрясения стал афтершоковый процесс – первый афтершок серии с $M_L=2.7$ был зарегистрирован сейсмическими станциями Уральской региональной сейсмологической сети через 16 мин после главного толчка.

Первая локальная сейсмическая станция в эпицентральной зоне была установлена через 18 ч после главного толчка. Землетрясение с афтершоками зарегистрировано в пределах Урала впервые в истории наблюдений, в связи с чем организация работы локальной сети в эпицентральной зоне столкнулась с определенными сложностями, и динамика афтершоков во времени на начальном этапе не являлась представительной. Региональные данные об афтершоках за первые 12 ч после основного толчка имели представительность $M_L \geq 2.7$ и состояли всего из восьми событий. Такого количества событий оказалось недостаточно для устойчивого расчета параметров законов Омори-Утсу и Гутенберга-Рихтера.

Для получения кондиционного каталога, основанного на разнородных данных локальных наблюдений, были применены подходы автоматического выделения и локации событий по одной станции [2]. Обработка большого количества высокочастотных событий, зарегистрированных на малых (5–30 км) эпицентральных расстояниях, потребовала модификации используемых алгоритмов. В итоге удалось получить однородный каталог (~970 событий) с представительной магнитудой $M_L \geq 0.7$ и восстановить временную картину афтершоковой серии с момента времени t_0 менее суток после главного толчка.

Количественные характеристики закона повторяемости афтершоков, рассчитанные по данным локальных наблюдений, позволили выявить многостадийный характер развития афтершокового процесса. Параметры p для закона Омори-Утсу и b для закона Гутенберга-Рихтера получены для Урала впервые. По данным локальных наблюдений выполнено моделирование процесса развития афтершоковой серии [3] и показана возможность прогнозирования сильнейшего афтершока в условиях Уральского региона. Магнитуда сильнейшего зарегистрированного афтершока 29.09.2018 г. в 09:06:52 с $M_L=4.3$ согласуется с динамическим законом Бота [3].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г., Варлашова Ю.В., Шулаков Д.Ю., Габсатарова И.П., Енифанский А.Г. Катав-Ивановское землетрясение 04.09.2018 г., $m_b=5.4$ (Урал) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 7–20. – DOI: 10.35540/2686-7907.2020.2.01. – EDN: CDITJV
2. Asming V.E., Fedorov A.V. Possibility of using a single three-component station automatic detector-locator for detailed seismological observations // Seismic Instruments. – 2015. – V. 51, N 3. – P. 201–208. – DOI: 10.3103/S0747923915030032
3. Baranov S.V., Narteau C., Shebalin P.N. Modeling and prediction of aftershock activity // Surveys in Geophysics. – 2022. – V. 43, N 2. – P. 437–481. – DOI: 10.1007/s10712-022-09698-0

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА МЕТОДОМ ДВОЙНЫХ РАЗНОСТЕЙ

¹И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н., ²А.А. Саяпина, ²И.Ю. Дмитриева, ²С.С. Багаева

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

Предметом исследования является сейсмичность центральной части Северного Кавказа, зарегистрированная в течение последнего десятилетия (2013–2022 гг.) сейсмической сетью Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Карты эпицентров землетрясений показывают, что распределение их имеет неоднородную структуру, выделяются отдельные скопления событий, которые во многих случаях приурочены к тектоническим узлам или протяженным разломным структурам.

В настоящей работе использован метод двойных разностей, реализованный в программе hypoDD [1, 2]. Он хорошо зарекомендовал себя при уточнении координат гипоцентров роевых и афтершоковых последовательностей на Кавказе и в других регионах. Для большого набора событий и для значительной территории Северного Кавказа (зоны ответственности Северо-Осетинского филиала) он используется впервые. Поэтому важным этапом являлся подбор параметров, используемых в методе двойных разностей.

Входной информацией являлся сейсмологический бюллетень, содержащий времена вступлений *P*- и *S*-волн на 28 станциях от 6806 землетрясений.

Кластеризация производилась в несколько этапов: 1 – для пятилетних бюллетеней (2013–2017 гг. и 2018–2022 гг.); 2 – для всей выборки в целом; 3 – для отдельных зон расположения наиболее представительных кластеров, полученных при «средних» параметрах возможных расстояний между парами событий, рекомендуемых в руководстве «по умолчанию» в качестве стартовых.

Полученные предварительные результаты позволяют отметить, что конфигурация областей части кластеров изменяется во времени, у других она почти постоянна на протяжении всего рассматриваемого периода. Одним из наиболее протяженных во времени и пространстве является кластер коровых землетрясений в Грозненской очаговой зоне, который смещается от Грозного в диагональном направлении к юго-востоку к структурам Дагестанского клина. Наиболее стабильным во времени и по площади является кластер землетрясений в Они-Джавской очаговой зоне.

Определены координаты центров кластеров, средние глубины, построены графики распределения во времени землетрясений представительных магнитуд в наиболее значительных по составу кластерах. Описаны типичные механизмы очагов для ряда кластеров.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Waldhauser F., Ellsworth W.L.* A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward Fault, California // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 2000. – V. 90, N 6. – P. 1353-1368. – DOI: 10.1785/0120000006
2. *Waldhauser F., Ellsworth W.L.* hypoDD – A program to compute double-difference hypocenter locations / *Open-File Report*. – US Geological Survey, 2001. – 113 p.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧУКОТКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛОТНОСТНОЙ ГРАНИЦЫ РАССЛОЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

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

Представляемые результаты являются продолжением исследований авторов о связи сейсмичности с особенностями глубинного строения земной коры на территории Северо-Востока России [1]. Моделирование показывает, что в земной коре можно выделить плотностную границу расслоения, которая разделяет две области. В верхней наблюдается латеральная плотностная неоднородность, т.е. изменение плотности при переходе от одного блока к другому. В нижней – различия в плотности соседних блоков отсутствуют, что свидетельствует о плотностной однородности вещества в данной области [2].

Подобное исследование проведено для арктического побережья Чукотки в районе, ограниченном координатами 69.0–70.5°N и 170.0–176.0°E. Толщина земной коры исследуемого участка, согласно глобальной модели CRUST 1.0, варьируется в пределах 35–40 км [3]. По степени активности новейших тектонических движений рассматриваемый район относится к классу умеренной активности [3].

Гравитационное поле участка характеризуется преимущественно отрицательными аномалиями на суше и положительными в море, что, вероятно, характеризует сокращение мощности гранитного слоя при переходе от материка к океану. Устанавливаемая моделированием глубина поверхности плотностной границы расслоения в земной коре на рассматриваемом участке варьируется от 5 до 90 км. При этом в центре участка выделяется субмеридиональная зона с глубиной погружения плотностной границы до 90 км в море и до 50 – на суше. Данная зона, возможно, картирует глубинный разлом, секущий море и сушу и простирающийся далее до о. Врангеля.

Рассматриваемый район находится вне зоны Чукотского сегмента Охотско-Чукотского сейсмического пояса [3] и характеризуется слабой сейсмичностью. С 1971 г. по настоящее время здесь зарегистрировано всего десять сейсмических событий энергетического класса $7 < K \leq 11$. Анализ распределения эпицентров землетрясений показал, что они, в основном, располагаются вблизи границ блоков с различной глубиной рельефа плотностной границы расслоения, в зонах повышенных горизонтальных градиентов глубины плотностной границы расслоения, т.е. на участках резкого изменения плотности при переходе от блока к блоку.

Полученные в работе выводы являются предварительными, т.к. подобный анализ для этой территории выполнен впервые, но площадь исследований не очень велика.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гайдай Н.К.* Новая интерпретационная гравиметрия. Понятия. Возможности. Перспективы использования // Вестник Северо-Восточного государственного университета. – 2010. – № S13. – С. 10–14.
2. *Гайдай Н.К., Калинина Л.Ю.* Сейсмичность и плотностная граница раздела в земной коре юго-восточного фланга сейсмического пояса Черского // Вестник Северо-Восточного государственного университета. – 2014. – № 22. – С. 86–90. – EDN: RDHSVO
3. *Имаева Л.П., Гусев Г.С., Имаев В.С. и др.* Геодинамическая активность новейших структур и поля тектонических напряжений северо-востока Азии // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 737–768. – DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0315. – EDN: ZWRGNV

ОПЫТ УТОЧНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА СТРОЙПЛОЩАДКАХ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Э.С. Гаравелиев, д.ф.г.-м.н.
РЦСС при НАНА, г. Баку, Азербайджан

Как известно, на Земле происходит множество опасных процессов эндогенного и экзогенного происхождения. Землетрясения, оползни, засухи, подъемы и падения уровня моря, лесные пожары являются основными природными и техногенными процессами, которые наносят наибольший материальный и человеческий ущерб на территории Азербайджана, в то же время землетрясения считаются наиболее опасным и катастрофическим эндогенным процессом по масштабу охвата.

Поскольку территория Азербайджана является частью активной Альпийско-Гималайской складчатой системы, здесь время от времени происходили сильные и разрушительные землетрясения (землетрясения в 427, 1139, 1235, 1667, 1902, 1961, 1963, 1989, 2000, 2007, 2012 гг. и др.) [1, 2].

С этой точки зрения одним из важных вопросов, стоящим перед сейсмологами и строителями в такой сейсмоактивной зоне, является обеспечение того, чтобы люди могли без проблем и потерь продолжать свою жизнедеятельность, а здания и сооружения продолжали эксплуатироваться без серьезных повреждений при землетрясениях.

Для достижения этой цели инженеры-строители должны иметь точные сейсмологические данные, отражающие сейсмичность района и инженерно-геологические условия. То есть эффективность сейсмостойкого строительства может быть достигнута при правильной оценке параметров вероятных сейсмических воздействий и локальных инженерно-геологических условий. Здесь также нужно учитывать наличие участков, склонных к разжижению, оползню и другим геологическим процессам.

С этой точки зрения важно правильно оценить параметры сейсмического воздействия на строительных площадках для каждого здания отдельно, а также используемые строительные нормы и правила должны отвечать современным требованиям. Одним из таких достижений за последние десять лет (с 2011 г.) является классификация грунтов по сейсмическим свойствам по параметру V_{s30} в сейсмическом нормативном документе Азербайджана (Az DTN 2.3-1).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hasanov A.H.* Perceptible earthquakes in Azerbaijan 1983-2002 years / Republican Seismic Survey Center of Azerbaijan National Academy of Sciences. – Baku: Elm, 2003. – 118 p. (In Azerbaijani).
2. *Yetirmishli G.D., Garavaliyev E.S.* Seismicity of the territory of Azerbaijan during the last 11 years (2003-2014) // National Security and Military Sciences. – 2015. – N 1. – P. 222–227.

СКОРОСТНОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЛАПЛАНДСКО-КОЛЬСКОГО ОРОГЕНА МЕТОДОМ ФУНКЦИЙ ПРИЕМНИКА

А.Г. Гоев, к.ф.-м.н.
ИДГ РАН, г. Москва

Лапландско-Кольский ороген (ЛКО), занимающий центральную часть Кольского полуострова, заключен между Мурманским блоком на севере и Карельским блоком на юге. Он представляет собой хорошо экспонированный участок щита, обнажающий все важнейшие тектонические элементы, тем самым обеспечивая понимание закономерностей геодинамических процессов с неогархейского до палеопротерозойского возрастов. ЛКО был центром крупных плюмовых процессов в позднем неогархее и до раннего палеопротерозоя [1, 2], что привело к рифтогенезу и распаду суперконтинента Кенорланд, а затем – к образованию океанической коры, субдукции и генерации палеопротерозойской ювенильной континентальной коры. Кроме того, ЛКО известен обилием крупных месторождений никелевых и железных руд, апатита, платины, палладия, титана, бадделита и т.д.

В докладе представлены новые модели распределения сейсмических скоростей в литосфере и подлитосферной мантии северо-западной части Лапландско-Кольского орогена (Кольский полуостров) методом функций приемника [3]. Проанализированы сейсмологические данные одной новой и двух постоянных широкополосных сейсмических станций, расположенных в Северной Финляндии, северо-западной части Норвежских Каледонид и в Печенгском рудном районе. Показано, что литосфера изучаемой территории имеет неоднородное строение. В структуре верхней мантии прослеживается зона пониженных скоростей, вероятно связанная со среднелитосферной неоднородностью (MLD). Выявлены существенные отличия в строении зоны Мохоровичича, представленной единым разделом в районе Каледонид, градиентным слоем для Северной Финляндии и сложным коромантийным переходом мощностью около 10 км с двумя границами на глубинах около 37 и 47 км под Печенгским рудоносным районом. Кроме того, для этой территории обнаружены аномально высокие значения отношения V_p/V_s практически от поверхности и до глубины около 20 км в непосредственной близости от медно-никелевого месторождения «Котсельваара-Каммикиви», которые могут быть интерпретированы как реликт протерозойской плюмовой активности.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lobach-Zhuchenko S.B., Arestova N.A., Chekulaev V.P., et al.* Geochemistry and petrology of 2.40-2.45 Ga magmatic rocks in the north-western Belomorian Belt, Fennoscandian Shield, Russia // Precambrian Research. – 1998. – V. 92. – P. 223–250. – DOI: 10.1016/S0301-9268(98)00076-X
2. *Шарков Е.В., Богатилов О.А., Красивская И.С.* Роль мантийных плюмов в тектонике раннего докембрия восточной части Балтийского щита // Геотектоника. – 2000. – Т. 2. – С. 3–25.
3. *Винник Л.П.* Сейсмология приемных функций // Физика Земли. – 2019. – № 1. – С. 16–27. – DOI: 10.31857/S0002-33372019116-27. – EDN: BYXDBGY

НОВАЯ СЕТЬ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

¹А.Г. Гоев, к.ф.-м.н., ¹Р.А. Резниченко,
²И.М. Алёшин, к.ф.-м.н., ¹С.Г. Волосов
¹ИДГ РАН, г. Москва
²ИФЗ РАН, г. Москва

Центральная часть Русской платформы (коллизийная зона) или, в другой терминологии, – центральная часть Восточно-Европейской платформы (ВЕП) является местом соединения в единый континент трех архейских прото-кратонов (мегаблоков): Фенноскандии, Волго-Уралии и Сарматии [1]. Ее глубинное строение представляет несомненный интерес для изучения процессов ранней геологической истории Земли. Кроме того, на ВЕП расположено значительное количество объектов, весьма чувствительных к тектоническим движениям земной коры. Это – действующие и строящиеся атомные электростанции, горнодобывающие комплексы, предприятия нефтегазовой промышленности, высотные здания и т.д. Таким образом, сейсмологические исследования на изучаемой территории важны и актуальны как с фундаментально-научной, так и с прикладной точки зрения.

Традиционно Восточно-Европейская платформа считалась асейсмичной зоной, поэтому целенаправленных исследований, позволяющих выявлять слабую тектоническую активность, не проводилось. По этой же причине практически не развивалась сейсмическая сеть. В работе представлена новая площадная широкополосная сеть сейсмических станций, которая совместно с постоянными станциями ФИЦ ЕГС РАН и малоапертурной сейсмической группой «Михнево» позволит как вести мониторинг сейсмической обстановки на ВЕП, так и решать широкий круг задач по определению кинематических и динамических особенностей ВЕП.

В качестве примера использования данных новой сети приведены новые глубинные скоростные модели земной коры и верхней мантии изучаемой территории, полученные методом функций приемника (описание использованной методики см. в [2] и ссылки в ней). Показана существенная топография коромантийного перехода в центральной части ВЕП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минц М.В., Сулейманов А.К., Бабаянц П.С., Белоусова Е.А., Блох Ю.И., Богина М.М., Буш В.А., Докукина К.А., Заможняя Н.Г., Злобин В.Л., Каулина Т.В., Конилов А.Н., Михайлов В.О., Натапов Л.М., Пийп В.Б., Ступак В.М., Тихоцкий С.А., Трусов А.А., Филиппова И.Б., Шур Д.Ю. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС, в 2 т. + 1 папка-комплект цветных приложений. – М.: Геокарт, ГЕОС. – 2010. – Т. 1. – С. 408; – Т. 2. – С. 400.
2. Винник Л.П. Сейсмология приемных функций // Физика Земли. – 2019. – № 1. – С. 16–27. – DOI: 10.31857/S0002-33372019116-27. – EDN: BУХDGY

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ ДАМБ ШЛАКОЗОЛОТОВАЛА НЕРЮНГРИНСКОЙ ГРЭС

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

Нерюнгринская ГРЭС является основным энергетическим источником для Южно-Якутского промышленного региона. Активное развитие горнодобывающей промышленности региона ведет к увеличению потребности в электроэнергии. Начата реконструкция ГРЭС, в том числе и ее объектов, по увеличению мощности. ГРЭС расположена в восточном секторе Олёкмо-Становой сейсмической зоны. Согласно карт ОСР 2015А, В, С, нормативная сейсмичность района составляет 8, 8, 10 баллов соответственно [1]. По результатам детального сейсмического районирования исходная уточненная сейсмичность (УСИ) составила 7 баллов для карт ОСР 2015А, В, 9 баллов – для ОСР 2015С, для грунтов II категории [2]. Грунты площадки шлакозолоотвала относятся к I категории, исходя из этого УСИ понижается на 1 балл. При выполнении сейсмического микрорайонирования (СМР) основным инструментальным методом являлся метод сейсмической жесткости, дополнительным – метод регистрации микросейсм. Согласно [1], все гидротехнические сооружения (ГТС) следует рассчитывать на два уровня сейсмических воздействий – максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) и проектное землетрясение (ПЗ) [1]. Сооружение относится к III классу, при расчете на МРЗ использовалась карта ОСР 2015С. Расчетная сейсмичность для дамб «Северная», «Южная» и «Верховая» не вызывала вопросов. При расчете сейсмической опасности дамбы «Низовая» расхождение в балльности между двумя указанными выше методами составило 0.9 балла, что превышает требования РСН 65-87, расхождения не должны превышать 0.5 балла. Для получения ясности причины превышения расхождения был выполнен комплексный анализ геофизических методов: сейсморазведки, электротомографии и георадарного зондирования. Данные электротомографии свидетельствуют об отсутствии мерзлых грунтов. С глубины 20 м на скоростном разрезе отмечается граница повышенных скоростей распространения продольных волн. По георадарным данным, она не так выдержана и изменяется от 18 до 21 м. На геоэлектрическом разрезе выделяются зоны пониженных электрических сопротивлений, совпадающие с зонами пониженных скоростей распространения упругих волн. Это можно объяснить разуплотненными участками в теле дамбы, в которых повышена влажность насыпных пород. Изменение геофизических параметров в разрезе тела дамбы можно проинтерпретировать как неоднородность строения тела дамбы, связанной с породами разного литологического состава. Зоны повышенных скоростей могут быть связаны с повышенными напряжениями в теле дамбы и, как следствие, снижением приращения балльности в этих зонах по сравнению с данными метода регистрации микросейсм, что, по нашему мнению, является причиной значительных расхождений в расчете приращений балльности разными методами. Детализация прогнозируемого приращения сейсмической угрозы по площади исследований, с учетом полученных геофизических данных, позволила уточнить уровень сейсмической опасности реконструируемых сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *СП 14.13330.2018*. Строительство в сейсмических районах. – М.: Стандартинформ, 2018. – 116 с. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293736/4293736459.pdf>
2. *Карта сейсмотектоники Восточной Сибири*. Объяснительная записка / Отв. ред. И.И. Коледезников, Г.С. Гусев. – Нерюнгри: Изд-во ТИ (Ф) СВФУ, 2015. – 168 с.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СТОЯЧИХ ВОЛН ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ В ИСТОРИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ Г. ТЮМЕНИ

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

Согласно инженерной сейсмологии, при сейсмических воздействиях как от землетрясений, так и от других источников (движущийся транспорт, работающие промышленные установки и др.) колебания сооружений усиливаются от низа к верху на собственных частотах. В случае совпадения частот колебаний, излучаемых источником, с собственной частотой сооружения возникают резонансные явления, которые могут нарушить целостность конструкции. Поэтому для обеспечения безопасной эксплуатации сооружений необходимо периодически контролировать их состояние.

В настоящей работе представлены результаты натурных экспериментов, демонстрирующие возможность обнаружения скрытых дефектов зданий по данным обследования сооружения методом стоячих волн и методами геотехнического мониторинга. Объектом исследования в данной работе является здание исторического наследия в Тюмени. С 2016 г. в непосредственной близости от здания производится строительство стороннего сооружения, для этого был вырыт котлован с заглублением 6 м. Вероятно, под влиянием изменения напряжений в фундаменте, вызванных котлованом, здание начало испытывать неучтенные нагрузки, что привело к образованию деформаций (трещин) в конструкции сооружения [1, 2]. Ввиду этого возникла необходимость провести детальное обследование сооружения на существующие и скрытые дефекты, для чего был использован метод стоячих волн [3]. Показано, что по накопленным амплитудным спектрам, полученным при наблюдениях, можно уверенно идентифицировать аномальные зоны, свидетельствующие о существующих дефектах в конструкции. Также показаны результаты обследования площади 400-летия в Тюмени.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зерцалов М.Г., Казаченко С.А., Колюхов Д.С.* Исследование влияния разработки котлована на окружающую застройку // Вестник МГСУ. – 2014. – № 6. – С. 77–86. – EDN: SIJYEL
2. *Калошина С.В. и др.* Проектирование фундаментов в стесненных условиях городской застройки: учебно-методическое пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политех. ун-та, 2021. – 223 с.
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 детальном инженерно-сейсмологических исследованиях // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 2. – С. 192–207. – EDN: SNEVAX

STUDY OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITION OF THE TERRITORY OF BAKU CITY IN ORDER TO DETERMINE THE LEVEL OF SEISMIC HAZARD

I.N. Jalilova
RSSC of ANAS, Baku, Azerbaijan

In order to study the impact of engineering-geological and hydrogeological conditions on the level of seismic hazard in the territory of Baku city, during the last 15 years, the data of engineering-geological wells drilled in the areas where high-rise buildings were built have been analyzed.

The results of the analysis show that the specified seismicity is estimated with 9 (nine) points, taking into account the engineering-geological and hydrogeological data of local soils in 30 construction sites of Sabayil district. These areas are mainly close to the seaside area of Sabayil district or 1.0-1.50 km away from the seashore. In these areas, the waters are mainly formed in the cast soil layer. In general, 8 points assess Sabayil district.

A total of 27 research areas in Yasamal district have been assessed by 9 (nine) points, and the remaining areas with 8 (eight) points. Groundwater is mostly in one horizon, rarely found in two horizons, and have had little effect on ground composition. The seismicity of Yasamal district is estimated with magnitude of 8 (eight) points.

Both engineering-geological and hydrogeological conditions have a great influence on the level of intensity in Khatai district. In particular, the impact of existing waters on the so-called "White City" and coastal areas is great. Groundwater is mostly formed in sands and plastic clays and are found at different depths of the ground. As a result, the area called "White City" and coastal areas are assessed by high-magnitude earthquake. In general, 37 research areas in the district are assessed with 9 (nine) points. In the rest part of area, the level of seismic hazard is estimated with 8 (eight) points.

There are semi-solid clay rocks that are widespread in the area and have a large thickness (4.5–50.0 m). This ground is considered to be the standard soil and is widespread in 5 (five) districts of Baku. Limestone ground predominates only in Yasamal district [3].

According to AzSCS (AzDTN) – 2.3–1, semi-solid clay ground – standard ground of the fourth period, belonging to the II class with natural moisture, has the following seismic hardness indicators:

- In case of natural moisture – Medium;
- Volume weight (density) – $\rho_0=1.60 \text{ g/cm}^3$;
- The average velocity of transverse seismic wave propagation in the ground – $V_0=550 \text{ m/s}$.

REFERENCE

1. *Ахмедбейли Ф.С., Гасанов А.Г., Кулиев Ф.Т., Панахи Б.М.* Новые схемы областей возникновения очагов сильнейших землетрясений и сейсморайонирования территории Азербайджана // Каталог сейсмопрогностических наблюдений на территории Азербайджана. 1987. – Баку: ЭЛМ, 1991. – С. 62–68.
2. *Гасанов А.Г., Маммадли Т.Я.* Сейсмическая опасность территории г. Баку по новым сейсмологическим и инженерно-геологическим данным // Опасные природные техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа / Ред. В.Б. Заалишвили. – Владикавказ: ВНИЦ РАН и PCO-A, 2008. – С. 67–70.
3. *Reports, 2003–2018.* – Baku: Fund of RSSC of ANAS.

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗА 2021–2022 ГГ.

Ж.Б. Досымбекова, С.К. Досайбекова
ТОО «СОМЭ» МЧС РК, г. Алма-Ата

Исследование механизмов очагов землетрясений (МОЗ) важно в связи с необходимостью мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) земной коры для своевременного выявления деформаций, которые могут инициировать разрушения. Важность оценки сейсмоструктурного деформирования особенно актуальна для юго-востока и востока Казахстана с высокой сейсмической активностью земной коры с одной стороны и высокой плотностью населения и промышленных объектов – с другой.

Определение механизмов очагов землетрясений в Казахстане проводится на основе моделирования очага в рамках теории дислокаций по стандартной методике А.В. Введенской [1], с помощью которой нодальные плоскости и векторы первых движений определяются в стереографической проекции сферы единичного радиуса. Достоверность определения параметров очагов землетрясений в используемой методике зависит от плотности расположения сейсмических станций. Территория Казахстана и его сейсмоактивные зоны окружены как казахстанскими сейсмическими станциями, так и станциями Кыргызстана, данные которых используются при определении МОЗ, что позволяет получить достаточно надежные решения механизмов очагов для сейсмоактивных регионов.

За 2021–2022 гг. на территории наблюдения определены и занесены в каталог параметры механизмов очагов 2906 землетрясений (МОЗ). На долю относительно слабых землетрясений в энергетическом диапазоне $K_p=5-8$ приходится 91% событий всего каталога МОЗ. Нижний энергетический уровень землетрясений, для которых определены механизмы, повышается с удалением к окраине территории. В пределах Джунгаро–Северо-Тянь-Шаньского региона решения механизмов получены для землетрясений начиная с $K_p=6$, что обусловлено наличием здесь плотной сети станций. Для очагов землетрясений Зайсанского и Джамбуло-Чимкентского районов механизмы определены, начиная с $K_p=8$ [2].

Для статистического анализа процессов в очагах землетрясений проводится градация типов подвижек в очагах по трем группам: взброс (взбросо-сдвиг), сброс (сбросо-сдвиг), сдвиг. В двух первых преобладают компоненты подвижек по падению плоскости разрыва, в последней – по простиранию [3].

В рассматриваемый период в пределах Заилийско-Кунгей Алатау количество взбросов уменьшилось на 10%, в зоне Терской Алатау уменьшилось на 2%, а в Джунгарии значение параметра N_v/N_o в 2021 г. увеличилось на 1%, а 2022 г. – уменьшилось на 2%. В результате отмеченных изменений параметра в отчетном периоде сложилась следующая ситуация напряженно-деформированного состояния: в хребтах Заилийско-Кунгей и Джунгарии 45%, в Терской Алатау значения параметра составили 40%.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Введенская А.В.** Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. – М.: Наука, 1969. – С. 47–66.
2. **Masaki N.** Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 2002. – V. 130. – P. 17–29. – DOI: 10.1016/S0031-9201(01)00306-5
3. **Полешко Н.Н., Досайбекова С.К.** Сейсмоструктурная обстановка по данным механизмов очагов землетрясений Джунгаро–Северо-Тянь-Шаньского региона Казахстана // *Вестник АО «КазНИИСА»*. – 2016. – С. 25–34.

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ УИС И ДСР

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

Методика детального сейсмического районирования (ДСР) с введением в действие норматива СП 286.1325800.2016 стала хорошо раскрытой и понятной широкому кругу изыскателей, что нашло отражение в увеличении числа объектов, где она применяется. Она включает три основных этапа исследований, позволяющих уточнить сейсмический потенциал территории по отношению к мелкомасштабным и порою приблизительно грубым данным общего сейсмического районирования. Первый этап – сеймотектонические исследования – включает обобщение всех существующих литературных и новых полевых материалов, касающихся геологического строения, неотектоники, истории развития рельефа, глубинного строения, напряженного состояния и современных движений земной коры, позволяющих разработать сеймотектоническую модель района исследований и составить карту зон ВОЗ. Сейсмологические исследования направлены на составление полного каталога сейсмических событий и сбор макросейсмических данных обо всех ощутимых землетрясениях, что дает возможность уточнить параметры сейсмического режима и особенности пространственного распространения макросейсмических проявлений. Наконец, расчет прогнозных сейсмических воздействий, опираясь на результаты предыдущих этапов, обосновывает сейсмическую сотрясаемость (зависимость уровня сейсмической опасности в баллах, пиковых ускорениях и других параметрах воздействий от периода повторяемости). Уточнение исходной сейсмичности (УИС), имея в целом схожую идеологию с ДСР, позволяет упростить и сократить срок изысканий за счет отказа от дорогостоящих полевых сеймотектонических и сейсмологических исследований.

При проведении таких изысканий на ряде ответственных объектов удалось автоматизировать ряд процессов, играющих ключевую роль в получении результатов ДСР и УИС. В частности, при сейсмологических исследованиях для уточнения модели распространения макросейсмического эффекта разработана программа IMReq, позволяющая рассчитать параметры уравнения макросейсмического поля по исходным макросейсмическим данным. Параметры модели возможно подобрать как для самого простого варианта вида Блэйка-Шебалина, так и для варианта А.А. Гусева, построенного на основе представления о некогерентном протяженном очаге [1].

Для анализа сейсмического каталога, установления необходимых параметров сейсмического режима (наклон графика повторяемости, глубинное распределение очагов), формирования матриц M_{\max} , $A_{3.3}$ и расчета сотрясаемости используется программа Delta_I. В то же время для формирования целевых спектров реакции и синтеза сейсмических записей от очагов с установленными предельными параметрами используется инструмент SGMC.

Весь комплекс программ разработан с учетом действующих нормативных документов и позволяет существенно сократить объем рутинной работы и повысить качество исследований при ДСР и УИС.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связи между магнитудами – среднемировые и для Камчатки. Вулканология и сейсмология. – 1990. – № 6. – С. 55–63.

ДЕТЕКТОР ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ QACD2 И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

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

В Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН долгое время ведутся работы по анализу инфразвуковых сигналов. В 2003 г. в окрестностях г. Апатиты была установлена инфразвуковая группа АР0, состоящая из трех микробарографов [1]. С ее помощью были обнаружены сигналы, порожденные инфразвуковыми событиями различных типов – промышленными взрывами, пролетами самолетов, пусками ракет, грозами и т.п. [2]. В рамках работ с Центром им. Хруничева по поиску фрагментов ракет-носителей, возвращающихся в атмосферу, были разработаны мобильные инфразвуковые группы – системы из трех низкочастотных микрофонов, быстро разворачиваемые на местности [3]. Такие группы использовались также для регистрации снежных лавин и процессов откола айсбергов. Был разработан специальный быстрый детектор инфразвуковых сигналов QACD, ориентированный на группы, состоящие из трех датчиков [4].

Как показала практика, по группам из трех датчиков надежно обрабатываются импульсные короткие сигналы, в то время как при обработке длинных сигналов, близких к монохромным, возникают неоднозначности. В 2021 г. недалеко от г. Кировска была развернута стационарная группа PABG, состоящая из четырех микрофонов. Плюс к этому, при изучении различных природных явлений время от времени возникает необходимость использования данных прочих инфразвуковых групп, которые могут содержать значительно большее, чем три, количество датчиков (например, используемая нами в рутинной работе группа ARCES, Норвегия). В связи с этим возникла потребность обобщить алгоритм детектора QACD для таких групп. В новом детекторе, так же, как в QACD, используется кросс-корреляция каналов инфразвуковых групп со сдвигами, однако учитывается тот факт, что когерентность записей сигналов на разных каналах падает с увеличением расстояния между датчиками. Поэтому для первичного детектирования используется корреляция не всех, а специально отобранных пар каналов, а для окончательной верификации – корреляция пар каналов с весами, зависящими от расстояния между соответствующими датчиками. Использование этого нового детектора для данных групп PABG и ARCES позволило существенно сократить число ложных срабатываний и повысить достоверность определения азимутов на события.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Виноградов Ю.А.** Сейсмоинфразвуковой комплекс «Апатиты» – новый инструмент дистанционного гео мониторинга в Евро-Арктическом регионе // Север - 2003: Проблемы и решения. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. – С. 103–108. – EDN: YUYOWI
2. **Асминг В.Э., Виноградов Ю.А., Евтюгина З.А., Кременецкая Е.О., Прокудина А.В.** О результатах наблюдений на Апатитском сейсмо-инфразвуковом комплексе // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2008. – Т. 11, № 3. – С. 512–518. – EDN: JRGMNH
3. **Асминг В.Э., Виноградов Ю.А., Воронин А.И., Федоров А.В., Чигерев Е.Н., Роскин О.Г.** Определение мест падений фрагментов ракет-носителей по данным инфразвуковых наблюдений // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 52, № 6. – С. 707–715. – DOI: 10.7868/S0002351516060043. – EDN: XGVYQJ
4. **Асминг В.Э., Федоров А.В., Виноградов Ю.А., Чебров Д.В., Баранов С.В., Федоров И.С.** Быстрый детектор инфразвуковых событий и его применение // Геофизические исследования. – 2021. – Т. 22, № 1. – С. 54–67. – DOI: 10.21455/GR2021.1-4. – EDN: MSOZRN

СРЕДНЕПЕРИОДНЫЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СЕЙСМОМЕТР

И.В. Егоров, к.ф.-м.н., А.С. Бугаев, академик РАН, В.М. Агафонов, к.ф.-м.н.
ООО «Р-сенсорс», г. Долгопрудный

С XX в. исследования строения земной коры при регистрации микросейсмического шума свидетельствуют о взаимосвязи спектральных характеристик микросейсм в области низких частот со стационарными геологическими объектами. Одним из методов изучения геологической среды на основе таких данных стал метод микросейсмического зондирования [1, 2]. Метод предусматривает проведение полевых микросейсмических измерений, аппаратура для которых должна удовлетворять критериям надежности и механической прочности, компактности и простоты установки.

Сегодня электрохимические приборы покрывают спектр частотного диапазона от 120 с для широкополосных сейсмометров до 300 Гц для геофонов. При этом максимально измеряемые сигналы доходят до ± 3 г [3], а динамический диапазон доходит до 140 дБ.

В данной работе показан принцип работы и основные характеристики среднепериодного электрохимического сейсмометра, параметры которого оптимизированы для выполнения микросейсмических полевых исследований.

Одним из параметров, определяющих величину собственного шума электрохимического сейсмометра, является высота столба электролита, являющегося частью чувствительной системы. Дополнительная масса позволяет пропорционально уменьшить уровень собственных шумов. Проведенные исследования и разработка конструкции были направлены на обеспечение малых габаритов полевого прибора, простую и недорогую конструкцию при достаточно низком уровне собственных шумов.

За основу среднепериодного электрохимического сейсмометра взят компактный геофон производства ООО «Р-сенсорс» MTSS-1031A с магнитной электродинамической обратной связью. Были проведены экспериментальные исследования зависимости коэффициента преобразования и уровня собственных шумов от значения дополнительной массы чувствительной системы. По результатам данной работы были достигнуты следующие выходные параметры: частотный диапазон: 0.1–80 Гц; уровень собственных шумов – не более -145 дБ относительно $1 \text{ м/с}^2/\sqrt{\text{Гц}}$ на 1 Гц; максимальный измеряемый сигнал – 5 мм/с. Инерциальная масса составляет 80 г. Масса трехкомпонентного прибора близка к 1 кг.

В отличие от широкополосных электрохимических сейсмометров, конструкция данного сейсмометра компактнее, проще в сборке и настройке, что сказывается как на стоимости прибора, так и на эксплуатационных характеристиках.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Давыдов В.А.* Малоглубинное сейсмическое зондирование на основе изучения эллиптичности микросейсм // Георесурсы. – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 78–85. – DOI: 10.18599/grs.2019.1.78-85. – EDN: IQRUKT
2. *Жостков Р.А., Преснов Д.А., Собисевич А.Л.* Развитие метода микросейсмического зондирования // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. – 2015. – № 2 (26). – С. 11–19. – EDN: UBKIRN
3. *Egorov I.V., Bugaev A.S., Chikishev D.A.* Strong motion molecular-electronic accelerometer // 19th IMS GeoConference SGEM 2019. Book 1.1. – 2019. – P. 959–966. – DOI: 10.5593/sgem2019/1.1/S05.118

ДЕТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ АКТИВИЗАЦИЙ И ОБЩЕЙ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В 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, ¹Е.А. Гладышев
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Экспериментальные работы с временными сетями станций проведены для всех крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области: Урэг-Нурского 1971 г., Бусингольского 1991 г., Чуйского 2003 г., Саянского 2011 г., Тувинских 2011–2012 гг., Айгулакского 2019 г., Хубсугульского 2021 г. и др. На основе высокоточных экспериментов построены карты, а в некоторых случаях – объемные структуры сейсмически активизированных разломов. Длительные наблюдения за изменением сейсмической активности очаговых областей позволили установить закономерности сейсмичности Алтая после Чуйского землетрясения.

Эпицентральные исследования афтершоков в Туве позволили обосновать повышенную активность поперечных разломов для Западного Саяна и хребта им. Ак. Обручева и объяснить это неравномерным движением блоков Тувинской котловины к северу.

Исследования в районе Тувино-Монгольского блока (стык структур Байкальской рифтовой зоны и Алтае-Саянской складчатой зоны) позволили видеть взаимодействие эпицентральных областей землетрясений разных лет. Установлен факт формирования крупных землетрясений около границ Тувино-Монгольского блока. Обнаружен и изучен уникальный пульсирующий режим активности эпицентральной области Бусингольского землетрясения 1991 г., и установлен факт изменения режима этой области в 2009 году.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-01271-23 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckprf.ru/usu/507436/>), и Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН по проекту ФНИ № FWZZ-2022-0021.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В.** Чуйское землетрясение 2003 г. и эволюция сейсмичности Алтая // Добрецовские чтения: наука из первых рук. Материалы Первой Всероссийской научной конференции, посвященной памяти выдающего ученого и организатора науки академика РАН Николая Леонтьевича Добрецова. – Новосибирск: СО РАН, 2022. – С. 90–92. – EDN: GIRHSS
2. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В.** Устойчивые структуры афтершоков Чуйского землетрясения 2003 г. // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 1. – С. 87–101. – DOI: 10.15372/GiG2020176. – EDN: FYBZVV
3. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Соловьев В.М., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А., Корабельщиков Д.Г., Подкорытова В.Г., Янкайтис В.В., Елагин С.А., Серезников Н.А., Дураченко А.В., Артемова А.И.** Сейсмологические исследования на территории Алтае-Саянской горной области // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 20–51. – DOI: 10.35540/2686-7907.2021.2.02. – EDN: XRLSMR

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И МТЗ В РАЙОНЕ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНЫ

¹Л.Ю. Епонешникова, ^{1,2}П.А. Дергач, ^{1,2}А.А. Заплавнова
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск
НГУ, г. Новосибирск

Район дельты реки Лены интересен своей уникальной геодинамической обстановкой. Здесь происходит переход между океаническим спредингом (хребет Гаккеля) и континентальным рифтогенезом (шельф моря Лаптевых). Помимо этого, рифтовые структуры граничат с Сибирским кратоном и Верхоянским складчато-надвиговым комплексом. Активные тектонические процессы выражаются сложной системой разломов и высокой сейсмической активностью [1]. В настоящей работе задействован комплекс геофизических методов для уточнения особенностей строения земной коры в районе дельты реки Лены. Стоит отметить, что район исследований расположен в зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП) мощностью около 0.5–1 км, что затрудняет проведение геофизических работ [2].

В настоящей работе используются данные о локальной сейсмичности, полученные с помощью временной сети сейсмологических станций. По этим данным было произведено уточнение скоростной модели и релокация гипоцентров сейсмических событий при помощи метода лучевой сейсмической томографии (СТ) [3]. Кроме того, используются данные метода МТЗ, основанного на измерении естественного переменного электромагнитного поля. Метод МТЗ позволяет изучать глубинное геоэлектрическое строение среды.

Для проведения комплексного анализа были сопоставлены два профиля, полученные с помощью методов МТЗ и СТ. Метод МТЗ позволил получить распределение удельного электрического сопротивления (УЭС) до глубины 8 км и проследить слой МПП по контрасту электрических свойств. Метод СТ более глубинный, он позволил определить особенности скоростного строения земной коры до глубины 35 км. По результатам обоих методов была выявлена граница между Сибирской платформой (характеризующейся пониженными значениями V_p/V_s по данным СТ) и дельтовой частью реки Лены. Эта граница соответствует наклонным тектоническим нарушениям, выявленным методом МТЗ по резкой смене УЭС. Полученные результаты рассматриваются как предварительные, которые будут проверяться и уточняться по мере поступления новых данных.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 23-17-00237, руководитель А.А. Дучков).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S.* Dynamics of the relief and sesmotectonic activity of the modern structures in the delta of the River Lena // *Geotectonics*. – 2019. – V. 53, Is. 5. – P. 588–600. – DOI: 10.1134/S0016852119050029
2. *Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г.* Происхождение и развитие дельты реки Лены. – СПб.: ААНИИ, 2013. – 268 с.
3. *Dergach P.A., Eponeshnikova L.Y., Ponasenko S.N., Kartoziia A.A., Geissler W.H., Duchkov A.A., Shibaev S.V., Zobnin G.Y.* Building a tomographic velocity model for Samoylov Island area (Lena Delta) from local seismological data for the period of 2019–2020 // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2022. – T. 13, № S2. – 30. – DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0627. – EDN: HVRKJX

РЕГИСТРАТОРЫ БАЙКАЛ-8L И 8.2 И ИХ ИСПЫТАНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ДАТЧИКОВ

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

Шестиканальные мобильные регистраторы серий Байкал-8L и Байкал-8.2, разработанные сотрудниками АСФ ФИЦ ЕГС РАН (г. Новосибирск), обладают высококачественным аналого-цифровым трактом, а также возможностью передачи данных при помощи проводных и беспроводных сетей Ethernet по протоколам SeedLink, Telnet и FTP. Наличие встроенного GPS-модуля позволяет осуществлять точную привязку станции к месту установки [1]. Данные серии регистраторов различаются АЦП, контроллерами, размерами плат и другими компонентами.

Регистраторы имеют два входа для подключения трехкомпонентных датчиков, что позволяет одновременно использовать несколько типов приборов на одной сейсмической станции.

Приведены характеристики регистраторов, их сравнение, влияние межканальной связи, измерения собственного шума АЦП и его влияние на регистрирующую систему с разными датчиками, результаты подачи дискретного сигнала 1 В на каждый канал в диапазоне 0.1–32 Гц, а также полевые испытания регистраторов вместе со следующими датчиками:

– SMG-3ТВ производства «Güralp Systems Limited» – широкополосный высокочувствительный скважинный велосиметр, с шириной полосы 360 с–50 Гц и чувствительностью ~2000 В/м/с на каждый канал [2];

– HS-1 производства «Geospace Technologies Corporation» – велосиметр для детальных наблюдений, использующийся как в сейсмологическом мониторинге, так и в инженерных изысканиях. Имеет собственную частоту 2 Гц и чувствительность 79 В/м/с [3];

– СМЕ-6211 в исполнении LT-02 – широкополосный сейсмометр производства ООО «Р-сенсорс» с частотным диапазоном 60 с–40 Гц и чувствительностью 2000 В/м/с [4].

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-01271-23 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://skprf.ru/usu/507436/>), и Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН по проекту ФНИ № FWZZ-2022-0021.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Байкал-8L. Техническое описание* [Электронный ресурс]. – URL: <http://expas-sib.ru/software/baykal-8/B8L-manual.pdf>
2. *Güralp 3ТВ. Operator's Guide*. Part MAN-BHO-0001 // Güralp Systems Limited. – Issue C, 2006. – P. 1–78.
3. *Описание сейсмометра HS-1* [Электронный ресурс]. – URL: <https://geospace-ufa.ru/products/geofony-bez-korpusov/hs-1/>
4. *Описание сейсмометра СМЕ-6211* [Электронный ресурс]. – URL: <https://r-sensors.ru/upload/iblock/e04/e042068ee72f1c002b2cf03e05342455.pdf>

РАСШИРЕНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ СОМЭ МЧС РК В РАМКАХ ПРОЕКТА SNECCA

¹А.Ж. Жунусова, ¹Б.М. Аширов, ¹Р.А. Гашимов, ²И.Н. Соколова, д.ф.-м.н.
¹ТОО «СОМЭ» МЧС РК, г. Алма-Ата, Казахстан
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

На территории Республики Казахстан (далее РК) в настоящее время функционирует сеть сейсмических станций ТОО «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» МЧС РК (далее ТОО «СОМЭ»). Основу этой сети составили станции, переданные в 1969 г. из ИФЗ АН СССР в Институт геологических наук АН Казахской ССР. С тех пор сеть постоянно развивалась, модернизировалась, аналоговые наблюдения сменились современными цифровыми станциями. Данные этой сейсмической сети являются базой для создания каталогов землетрясений Северного Тянь-Шаня и Джунгарии, каталогов территории РК, оценки сейсмической опасности. Исторически сложилось, что при формировании сети ТОО «СОМЭ» станции устанавливались там, где уже были известны сильные землетрясения, вблизи зон высокой сейсмической активности [1], при этом большая часть территории РК не была покрыта сейсмическими наблюдениями. Кроме того, в Казахстане была слабо развита сеть сильных движений для регистрации сильных колебаний при ощутимых и разрушительных землетрясениях. Их данные необходимы для разработки норм и правил сейсмостойкого строительства, обеспечения сейсмической безопасности жилых застроек и особо ответственных объектов.

Международный проект SNECCA «Расширение сейсмической сети на Кавказе и в Центральной Азии» (2019–2023 гг.) направлен на усиление возможностей сейсмического мониторинга, реагирования на землетрясения в странах Центральной Азии и Кавказа благодаря расширению сейсмических сетей. Данный проект предусматривает обучение передовым методам и техническую поддержку для размещения, установки и эксплуатации станций, а также обучение использованию и обмену данными в режиме реального времени для решения приоритетных задач национального сейсмического мониторинга.

В проекте делается акцент на качество получаемых данных, обмен данными в реальном времени, тщательный подбор сейсмической аппаратуры, который включал как широкополосный высокочувствительный сейсмометр, так и акселерометр сильных движений. Места для установки новых сейсмических станций выбирались для обеспечения оптимального покрытия территории РК сейсмическими наблюдениями, для выбора мест установки проводились рекогносцировочные работы с целью анализа уровня спектральной плотности сейсмического шума. Для снижения уровня сейсмического шума при установке станций были пробурены неглубокие скважины 1.5–2 м.

Для достижения целей проекта в Казахстане были установлены шесть новых станций: FDRN, ALGA и INDER (запад РК); AKST (Центральный Казахстан); ZHTS (юг РК); USHN (восток РК). Также были модернизированы пять существующих станций: JBGS (юг РК); BRZS (Центральный Казахстан); ZSN (восток РК); TLG (Северный Тянь-Шань); SHLS (юго-восток РК). Установлены приборы сильных движений на четырех станциях в крупных городах: CHM (Шымкент), DJB (Тараз), SEM (Семей), TDK (Талдыкорган).

В настоящее время данные новых станций участвуют в составлении сейсмологических бюллетеней, их использование позволило снизить представительную магнитуду регистрируемых событий в разных районах Казахстана, улучшить точность локализации сейсмических событий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mikhailova N.N., Kurskeev A.K.* Present status of the network for seismic observation in Kazakhstan // Journal of Earthquake Prediction Research. – 1995. – V. 4, N 4. – P. 497–506.

РОЛЬ АФТЕРШОКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХАРАКТЕРНЫХ РАЗМЕРОВ ОЧАГОВОЙ ЗОНЫ

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

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

В работе использованы данные мирового каталога землетрясений USGS/NEIC с 1973 по 2019 год. Исследована зависимость числа повторных толчков на коротких интервалах времени – не более 24 ч после главного толчка, и расстояниях от эпицентра (или гипоцентра для глубокофокусных землетрясений) главного толчка до 5°. Основным методическим приемом во всех построениях являлся метод наложения эпох.

В результате анализа обобщенных (накопленных) пространственных распределений афтершоковых последовательностей, полученных при изучении большого числа главных толчков в различных диапазонах магнитуд и глубин (совокупный объем выборок составляет тысячи главных толчков и десятки тысяч афтершоков), установлены два новых свойства пространственного распределения повторных толчков. Первое свойство – максимум кривой, описывающей пространственное распределение афтершоков, наблюдается на определенном расстоянии (примерно от 10 до 120 км) от эпицентра главного толчка. При этом логарифм этого расстояния прямо пропорционален магнитуде главного толчка. Второе свойство – положение максимума не зависит от времени, т.е. является стабильной пространственной характеристикой очага, по крайней мере, на рассматриваемых нами коротких интервалах времени после главного толчка.

Эти свойства оказались характерны не только для неглубоких главных толчков, но и для глубоких с глубинами гипоцентров более 300 км. Они положены нами в основу определения размера очаговой зоны. Оказалось, что зависимость расстояния максимума пространственного распределения афтершоков от магнитуды главных толчков достаточно хорошо аппроксимируется уравнением $\lg R_{[\text{км}]} = 0.43 \cdot M - 1.57$ (1). Если расстояние от главного толчка до максимума пространственного распределения афтершоков интерпретировать как средний радиус R очаговой зоны, то 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) [1]. Заметим, наша формула (2) практически совпадает с формулой Ю.В. Ризниченко [2] $\lg L_{[\text{км}]} = 0.44 \cdot M - 1.29$ (3), но несколько отличается от формулы, предложенной Д. Уэлсом и К. Копперсмитом в [3] $\lg L_{[\text{км}]} = 0.67 \cdot M - 2.94$ (4).

Аналогичный подход мы использовали при определении характерного размера очаговой зоны глубокофокусных землетрясений. Для них регрессионное соотношение имеет вид $\lg L_{[\text{км}]} = 0.23 \cdot M + 0.04$ (5). Оно отличается от соотношения (2).

В работе мы сосредоточили внимание на поиске наиболее общих, устойчивых свойств очаговой зоны. В результате нам удалось показать возможность использования установленных свойств афтершоков для определения характерного размера очаговой зоны как неглубоких, так глубокофокусных главных толчков.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ государственных заданий Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Завьялов А.Д., Зотов О.Д.* Новый способ определения характерного размера очаговой зоны // Вулканология и сейсмология. – 2021. – № 1. – С. 22–29. – DOI: 10.31857/S0203030621010065. – EDN: YJHNDK
2. *Ризниченко Ю.В.* Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука. 1976. – С. 9–27.
3. *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. – DOI: 10.1785/BSSA0840040974

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ITSHAKES ДЛЯ СБОРА МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

¹Б.Д. Захаров, ^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н.
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Для организации сбора макросейсмической информации при ощутимых землетрясениях разработано веб-приложение itShakes. Оно основано на шкале сейсмической интенсивности ШСИ-17 [1]. Для документирования интенсивности сотрясения предусмотрена геопривязка для каждого из наблюдений. Точность геопривязки обеспечивается картами OpenStreetMap [2], сервисом геокодинга и обратного геокодинга. Пользователь при заполнении анкеты может выполнить точную геопривязку отдельного строения, в котором наблюдались сотрясения, заполнив адресную строку или указав точку на карте. Используя геопривязку каждого наблюдения интенсивности, учитываются грунтовые условия в построении карты интенсивности сотрясений для события.

Решены следующие задачи: разработана структура микросервисного взаимодействия; настроена и запущена база данных для обработки данных osm [2] и данных о землетрясениях; настроен и запущен tile-сервер для рендеринга карт; настроен сервис для геокодинга и обратного геокодинга; произведена интеграция с программным средством SeisComP; разработан веб-интерфейс для ввода данных со списком вопросов для опроса согласно ШСИ-17 [1]; создан сервис для обработки данных с tile-сервера; разработан HTTP-сервис для взаимодействия с геокодингом и базой данных.

Для данной работы использован целый ряд технологий и программных средств:

- React – фреймворк для динамического рендера html-контента;
- Redux – библиотека для хранения глобального состояния между компонентами;
- Axios – библиотека для отправки и получения HTTP-запросов;
- Mapnik – библиотека для рендера данных для карт, полученных из tile-сервера;
- Nominatim – программное обеспечение для геокодинга;
- Docker – для контейнеризации, автоматизации и изоляции микросервисных программ;
- фреймворк Nest, работающий на Node.js;
- PostgreSQL – для сбора данных;
- Nginx – прокси-сервер;
- Node.js – программная платформа;
- Nest – платформа для создания эффективных масштабируемых программ Node.js;
- TypeScript – язык программирования, средство разработки веб-приложений, расширяющее возможности JavaScript.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-01271-23 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckprf.ru/usu/507436/>), и Института нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука СО РАН по проекту ФНИ № FWZZ-2022-0021.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ Р 57546–2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146265>
2. *Arsanjani J.J., Zipf A., Mooney P., Helbich M.* OpenStreetMap in GIScience: experiences, research, and applications // Lecture notes in geoinformation and cartography (Springer, 2015). – DOI: 10.1007/978-3-319-14280-7

ДОБРОТНОСТЬ ЛИТОСФЕРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

¹А.С. Зверева, ²И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н., ³А.А. Саяпина

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

³СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

Затухание объемных волн в литосфере обычно описывается безразмерной величиной, называемой добротностью Q . Оценка добротности возможна путем анализа сейсмических записей различными методами. Знание Q важно для решения различных задач прикладной и фундаментальной сейсмологии, таких как изучение сейсмического очага, моделирование синтетических сейсмограмм, прогнозирования движения грунта при количественной оценке опасностей и рисков. Целью настоящей работы является расчет добротности литосферы Q_c Центрального Кавказа методом оценки спада амплитуды огибающих кода-волн в предположении однократного рассеяния [1, 2] и ее связь с региональной тектонической структурой. Район исследования охватывает территорию Центрального Кавказа, в качестве исходных данных для расчета были отобраны 276 землетрясений за период 2013–2022 гг., зарегистрированных сетью сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН, с $M=1.8-5.5$ и $h<40$ км.

Значения Q_c были рассчитаны с использованием программы CodaQ программного комплекса SEISAN [3] с набором стандартных параметров, предложенных в [4]. Значения Q_c оценивались для каждой сейсмической станции и центральной частоты. Всего в расчетах были использованы данные 23 сейсмостанций и получено 2713 значений Q_c при геометрическом расхождении $\beta=1.0$. С использованием аппроксимирующей частотно-зависимой степенной функции, для каждой сейсмостанции определялось соотношение $Q_c=Q_0 \cdot f^\alpha$, среднее для региона составило $Q_c=92 \cdot f^{0.98}$.

Для исследования связи полученных значений Q_c с особенностями тектонического строения региона было проведено пространственное районирование Q_c . В предположении однократного рассеяния область, охваченная кода-волнами, соответствует эллипсоиду, в фокусах которого находятся источник и приемник, соответственно рассчитанное значение Q_c соотносится к так называемой средней точке, представляющей собой проекцию середины эллипсоида на земной поверхности. На основании этого были выделены три зоны группирования средних точек, соответствующих в тектоническом плане структурам Большого Кавказа (БК), Лабино-Малкинской зоны (ЛМЗ) и западной части Терско-Каспийского прогиба (ТКТ). Соответственно для каждой из зон были рассчитаны частотно-зависимые степенные функции Q_c , они составили $Q_c=88 \cdot f^{0.92}$ для зоны БК, $Q_c=111 \cdot f^{0.99}$ – для зоны ЛМЗ, $Q_c=99 \cdot f^{0.82}$ – для зоны ТКТ. Полученные зависимости будут использованы для расчета спектральных параметров очагов землетрясений, произошедших в этих зонах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Aki K., Chouet B. Origin of coda waves: source, attenuation, and scattering effects // Journal of Geophysical Research. – 1975. – V. 80, N 23. – P. 3322–3342. – DOI: 10.1029/JB080i023p03322
2. Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С., Земцова А.Г., Проскурин А.П., Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.Н., Синельникова Л.Г., Филина А.Г., Шенгелия И.С. Экспериментальные исследования сейсмической коды. – М.: Наука, 1981. – 143 с. – EDN: TQPOBT
3. Havskov J., Voss P.H., Ottemöller L. Seismological observatory software: 30 Yr of SEISAN // Seismological Research Letters. – 2020. – V. 91, N 3. – P. 1846–1852. – DOI: 10.1785/0220190313
4. Havskov J., Sørensen M.B., Vales D., Özyazicioğlu 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. – DOI: 10.1785/0120150359

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ НА КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ

Т.В. Злобина
«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМКС) – это сложный объект, имеющий высокую техногенную нагрузку и постоянно изменяющуюся геодинамическую обстановку. Одним из способов контроля процесса разработки месторождения является сейсмологический мониторинг, который проводится на исследуемой территории более 25 лет. Для изучения сейсмичности на калийных рудниках широко применяются ГИС-системы, которые позволяют исследовать пространственные закономерности. Для исследования техногенной сейсмичности был применен комплекс инструментов на базе программного продукта ArcGIS. Так, для изучения распределения сейсмических событий на рудниках был использован инструмент «Плотность точек», который вычисляет плотность точечных объектов вокруг каждой ячейки выходного растра. Для статистического анализа данных использовался инструмент «Зональная статистика», «Статистика наборов каналов», а также набор инструментов «Пространственная статистика». «Зональная статистика» вычисляет статистику для каждой зоны, определенной набором данных зоны на основе значений из другого набора данных (растр значений). «Статистика наборов каналов» предоставляет статистику для многомерного анализа набора каналов растра, в т.ч. рассчитывает вариационную и корреляционную матрицу. Набор инструментов «Пространственная статистика» содержит статистические инструменты, используемые для анализа пространственного распределения, структур, процессов и отношений.

С помощью ГИС-технологий было изучено влияние наличия и возраста отработанных камер, возраста и типа закладочного материала, а также ширины камер [1, 2]. Изучение влияния возраста отработки на ВКМКС показало, что максимум энерговыделения достигается для сильвинитовых пластов в возрасте 30 лет, для карналлитового пласта – 60 лет. Исследование влияния возраста и типа закладочного материала выявило, что в среднем проведение гидрозакладки приводит к снижению выделения сейсмической энергии до 1.7 раз. На калийных рудниках гидравлическая закладка приводит к минимальным значениям энергии сейсмических событий через 25–30 лет, а сухая – через 40–45 лет. Изучение влияния ширины камеры на микросейсмическую активность показало низкую корреляцию этих двух параметров при рассмотрении всех сейсмических событий, произошедших на руднике. Однако геометрические параметры камеры оказывают влияние на пределы возможной энергии сейсмических событий типа «обрушение». Для таких сейсмических событий была выявлена прямая линейная зависимость максимальной моментной магнитуды от геометрических параметров камеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Злобина Т.В. Обновление параметров модели прогноза сейсмической активности для рудника СКРУ-1 Верхнекамского месторождения калийных солей // Горное эхо. – 2022. – № 1 (86). – С. 101–108. – DOI: 10.7242/ЕCHO.2022.1.16. – EDN: YBAWVG
2. Злобина Т.В., Дягилев Р.А. Аprobация метода прогноза сейсмической активности для Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 4. – С. 56–66. – DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_56. – EDN: EADAPS

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАРЕЛИИ

И.А. Зуева, А.А. Лебедев
ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Сведения о землетрясениях Карелии крайне скудны. Кроме того, стоит отметить, что в силу исторических и экономических причин на территории Карелии не велись систематические и целенаправленные наблюдения сейсмичности. Отмечены немногочисленные эпицентры землетрясений, зафиксированные как по макросейсмическим данным, так и по инструментальным измерениям. В связи с отсутствием сейсмических станций на территории Карелии до 2000 г. и значительной удаленностью действующих станций в соседних регионах и за рубежом точность определения координат эпицентров невелика, не исключено, что слабые толчки не зафиксированы. В пределах Карелии известные эпицентры локализируются в Северной Карелии, вдоль побережья Белого моря, и в Южной Карелии, в пределах котловины Ладожского озера. В целом для юго-восточной части Фенноскандинавского щита отмечаются следующие главные черты проявления сейсмичности. Количество зафиксированных эпицентров землетрясений убывает с запада на восток, что отражает снижение в этом направлении уровня сейсмичности. Наибольшее количество очагов землетрясений располагается на глубине 10–20 км, глубже – значительно реже. Эпицентры группируются в зоны, согласные с простираем главных геологических структур фундамента. Причиной большинства землетрясений являются напряжения, вызванные в земной коре новейшими и современными движениями. В некоторых районах часть слабых землетрясений, возможно, связана с затухающими гляциоизостатическими движениями. Слабая изученность сейсмичности Карелии не позволяет сделать какие-либо определенные выводы об особенностях проявления землетрясений. Территория Карелии является областью со слабой, по сравнению с западными и северными районами щита, сейсмичностью [1, 2].

За прошедшие два десятка лет с момента установки сейсмической сети на территории Карелии зарегистрировано более 70 землетрясений с магнитудой $M_L=0.5-3.2$ на глубинах 0–35 км. Очаги землетрясений возникают на севере региона, в Лоухском и Калевальском районах, в Белом море и в районе Костомукши. По данным Карельской сейсмической сети и сейсмических станций соседних регионов, за период наблюдений 2000–2021 гг. землетрясение с максимальной магнитудой 3.2 произошло в Лоухском районе в 2001 году.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 23-27-10002, <https://rscf.ru/project/23-27-10002/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы* / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн. 1: Землетрясения. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 381 с. – EDN: QKGNRR
2. *Лукашов А.Д.* Новейшая тектоника Карелии. – Л.: Изд-во Наука, Ленингр. отд., 1978. –109 с.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ СОЗДАНИЯ БЮЛЛЕТЕНЕЙ В ФОРМАТЕ «ТРЕХ ФАЙЛОВ» ИЗ СГЕНЕРИРОВАННОГО ПРОГРАММОЙ WSG ОТЧЕТА О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

О.Е. Иванков, И.Н. Сафронич
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Для получения станционных бюллетеней из программы WSG в лаборатории сейсмического мониторинга Воронежского кристаллического массива (ЛСМ ВКМ) ФИЦ ЕГС РАН исторически использовалась база данных «Станционный бюллетень» (БДСТБЮЛ), поддержка которой завершилась на версии MS Access 97. Разработанная на ее замену программа создания сводки в коде МСК-85 и станционного бюллетеня «Data Processor» (DP) имеет ряд особенностей, которые не позволяют поддерживать используемую в ЛСМ ВКМ базу бюллетеней в формате трех текстовых файлов, созданную в БДСТБЮЛ. Основная проблема связана с нумерацией обработанных в программе WSG событий. Программа DP использует динамическую нумерацию событий, а в БДСТБЮЛ номер каждому событию присваивается один раз и остается неизменным. Кроме того, создаваемые DP три файла имеют некорректные значения в ключевых полях «ogrid» и «arid», которые не позволяют без их корректировки соединять обработку разных декад текущего года в одной базе данных. В лаборатории для создания бюллетеней продолжает использоваться БДСТБЮЛ на отдельном компьютере под управлением Win98 с установленным MS Office97.

Используя новый подход к технологическому развитию ЛСМ ВКМ с применением отдельных программ, написанных на Python [1], разработан программный модуль, обеспечивающий создание и распечатку декадных бюллетеней по отдельной станции в формате «трех файлов». В них номер зарегистрированного станцией события в рамках года является уникальным, а значения «ключевых полей» позволяют объединять их в единую базу данных за текущий год. Источником данных о зарегистрированных сейсмических событиях является «Отчет о землетрясениях», который можно сгенерировать и сохранить в программе WSG с включенными опциями «Выводить список фаз» и «Сортировать по возрастанию». При получении «Отчета ...» за нужную декаду необходимо помнить, что для выборки используются даты обработки данного землетрясения. Поэтому для включения всех событий за нужную декаду необходимо выбирать более широкие рамки. Затем из полученного «Отчета ...» надо удалить события других декад. Подготовленный таким образом файл очищается программным модулем от неинформативных строчек. Оставшиеся строчки нумеруются, начиная со следующего номера предыдущей декады. Эти номера используются в качестве значений «ключевых полей». В ЛСМ ВКМ проводится сводная обработка сейсмических событий, поэтому полученный «Отчет ...» содержит обработку события по всем станциям. Для получения бюллетеня по одной станции необходимо оставить строчки, относящиеся к ней. Оставшимся строчкам с описаниями событий присваиваются номера землетрясений с учетом последнего номера в предыдущей декаде. После этого результаты замеров и обработки переносятся в соответствующие поля текстовых файлов базы бюллетеней. Возможность использования модуля подтверждает идентичность номеров событий, полученных обоими способами.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафронич И.Н. Использование библиотеки OBSPY для улучшения локации близких сейсмических событий в программе WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных : Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 87. – EDN: FHYJOF

ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОПАСНЫМИ УЧАСТКАМИ СЕВЕРНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Е.М. Игнатчик, И.М. Басакина, к.т.н., Г.Н. Антоновская, д.т.н.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

Потенциально опасные участки железнодорожных трасс требуют постоянного визуального и инструментального контроля из-за риска размывания и обвала грунтов. Главным фактором, ухудшающим состояние дорог Северных территорий, является их обширная заболоченность и обводненность. Значительная часть сети Северной железной дороги (СЖД) была построена более века назад. Во время Великой Отечественной войны ряд участков строился по облегченным временным нормам. Осадки насыпей на болотах начались сразу же после строительства в начале 1940-х гг. и на многих участках не завершились до настоящего времени, что становится ощутимой проблемой на пути растущих грузопотоков. Для снижения рисков аварий на железнодорожном транспорте возникает потребность в создании системы диагностики с последующим мониторингом состояния земляного полотна [1]. Нами на участке СЖД Онежского района Архангельской области опробован комплекс активных и пассивных сейсмических методов, основанный на анализе вибраций, создаваемых проходящими поездами.

Натурные сейсмические наблюдения выполнялись на участках насыпей в районе слабых и устойчивых грунтов. По результатам применения малоглубинной сейсморазведки, построены скоростные разрезы для двух участков. На временном разрезе ослабленного участка выделена линза с пониженными скоростями поперечных волн $V_s=90-120$ м/с (на расстоянии от 4.5 до 10 м от рельсов по склону насыпи), предположительно, заполненная торфом.

Вибрационная диагностика показала зависимость параметров колебаний от изменений внутреннего строения насыпей и состояния слагающих их грунтов [2]. Выполнены аналитические решения, подтверждающие экспериментальные результаты [2]. Инженерно-сейсмометрические наблюдения позволяют максимально охватить анализируемое волновое поле системы «конструкция пути – земляное полотно – грунты основания» и оценить сейсмические характеристики среды. Преимуществами непрерывного мониторинга по сравнению с дискретными обследованиями являются: 1 – возможность выявления опасных процессов на ранней стадии; 2 – не требуются специализированные источники внешних сигналов и нарушение графика движения поездов.

На следующем этапе выполнения работ необходимо проведение математического моделирования воздействий с перебором возможных моделей грунтов и состояний насыпи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Конишин Г.Г.* Динамические напряжения в земляном полотне от воздействия подвижного состава: учебное пособие. – М.: МИИТ, 2004. – 155 с.
2. *Antonovskaya G.N., Orlova I.P., Kapustian N.K.* Ultralow-frequency seismic sounding of railway subgrade state by passing trains // Canadian Geotechnical Journal. – 2021. – V. 59. – P. 1–12. – DOI: 10.1139/cgj-2021-0621

ВАРИАЦИИ pH ПОДЗЕМНЫХ ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ЮЖНОГО ТАДЖИКИСТАНА ЗА 2021–2023 ГГ.

Ф.Х. Каримов, д.ф.-м.н., Б.К. Олимов, Ш.А. Олимов
ИГССС НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан

Опыт наблюдений за вариациями гидрогеологических и гидрогеохимических параметров подземных термоминеральных вод, накопленный в сейсмически активных районах, в частности, на территории Таджикистана, показывает, что сейсмотектонические циклы могут сопровождаться трендовым ходом относительно долговременного регулярного состояния геосреды, локальными аномальными вариациями на стадии подготовки землетрясения и переходом в новое регулярное состояние постсейсмической стадии [1].

Настоящая работа посвящена исследованиям вариаций параметра pH подземных термоминеральных вод на месторождениях «Шаамбары», «Явроз», «Обигарм» и «Ходжа-Обигарм», расположенных в Южном Таджикистане, за период 2020–2023 гг. На основе известных эмпирических аналитических зависимостей [2, 3] и моделей сейсмотектонического цикла [4] выделены три эпицентральной зоны, в которых ожидаются особенности проявления вариаций pH сейсмотектонической природы: ближняя, в которой формируется очаг землетрясения, средняя, к окраине которой деформации геосреды спадают до фоновых значений, определяемых экзогенными процессами, и дальняя, существование которой обусловлено прохождением крупных разломных зон. Произведен анализ случаев возникновения аномалий pH и установлено их соответствие известным эмпирическим зависимостям пространственно-временных параметров от магнитуды для каждого конкретного землетрясения [1–5]. Идентифицированы также случаи возникновения аномалий pH, которые не соответствовали какому-либо сейсмотектоническому циклу.

Обнаружена наиболее крупная аномалия параметра pH, которая удовлетворяет известным эмпирическим зависимостям радиуса ее зоны проявления и длительности от магнитуды в применении к Матчинскому землетрясению 22 марта 2023 г. с $M=5.8$. Длительности этой аномалии составили первые годы, они неодинаковы в пунктах сейсмогеохимических станций и зависят от их гипоцентрального расстояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каримов Ф.Х., Саломов Н.Г., Старков В.И., Старкова Э.Я., Шозиёв Ш.П.** Сейсмогеофизические исследования на территории Таджикистана и проблемы прогнозирования землетрясений // *ГеоРиск*. – 2017. – № 1. – С. 30–38. – EDN: XXRJFH
2. **Мячкин В.И., Зубков С.И.** Сводный график предвестников землетрясений // *Известия АН СССР. Физика Земли*. – 1973. – № 6. – С. 28.
3. **Сидорин А.Я.** Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния // *Доклады АН СССР*. – 1979. – № 4 (245). – С. 825–828.
4. **Добровольский И.П.** Теория подготовки тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1991. – 219 с.
5. **Султанходжаев А.Н., Латипов С.У., Закиров Т.З., Хамидов Л.О.** О возможности прогноза места возникновения сильных землетрясений по вариациям радона // *Узбекский геологический журнал*. – 1977. – № 3. – С. 39–43.

О СЕЙСМИЧНОСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА

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

Целью данной работы являлось обновление некоторых параметров региональной сейсмичности – создание унифицированного по магнитуде M_w регионального каталога, оценка представительности землетрясений, исследование сейсмического режима в зоне ответственности (уверенной регистрации) Пулковской сейсмической сети (круг диаметром 800 км с центром 60.3°N, 30.2°E). В тектоническом плане район исследования расположен на юго-восточном склоне Фенноскандинавского щита, охватывая области депрессии Финского залива и Псковско-Палдисского разлома на западе, Ладожско-Ботнической зоны на севере и части Карельского кратона на востоке.

Обновление каталога землетрясений изучаемой области, прежде всего, заключалось в новом рассмотрении исторических материалов. Некоторые (самые сильные) землетрясения XVII–XIX вв. были включены в «Каталог зарегистрированных землетрясений с 1606 г. до н.э. по 1850 г. н.э.», (Р. Малле, 1957 г.), и в «Каталог землетрясений Российской Империи» (И.В. Мушкетов и А.П. Орлов, 1893). Из региональных каталогов надо отметить работы А. Перрея, Р. Кьеллена, К. Моберга, Дж. Росберга. В 1930 г. была опубликована работа Х. Ренквиста «Землетрясения в Финляндии», в которой он не только обобщил труды предшественников, провел масштабное анкетирование жителей Финляндии об ощущаемых землетрясениях, позволившее дополнить список событий, но и сделал анализ интенсивности, повторяемости землетрясений. Эта работа стала отправной точкой для последующих исследователей сейсмичности региона. Во второй половине XX в. сейсмичностью региона занимались М. Бат, Г.Д. Панасенко, А.А. Никонов, Б.А. Ассиновская [2] и другие ученые, дополнившие и уточнившие каталог Х. Ренквиста.

Инструментальные наблюдения в регионе до середины 50-х гг. XX в. проводились на сейсмической станции «Пулково» и эпизодически другими станциями, но чувствительности аппаратуры для слабых региональных событий не хватало. В 1956 г. была открыта сейсмостанция «Апатиты», позднее начали развиваться финская и шведские сейсмические сети, сейсмические группы в Норвегии и на Кольском полуострове. В начале XXI в. была организована Пулковская региональная сеть, а чуть позже – сейсмическая сеть Института геологии КарНЦ РАН.

Данные о землетрясениях для зоны уверенной регистрации Пулковской сейсмической сети, зарегистрированных как по макросейсмическим, так и по инструментальным данным, были сведены в общий каталог (610 событий). Была проведена унификация магнитуд для всех событий каталога: интенсивность и магнитуды были пересчитаны в моментную магнитуду M_w . Была проведена оценка представительности каталога, показавшая, что представительными являются события с магнитудой $M_w \geq 1.2$ (570 событий). Для этих событий был построен график повторяемости в двух вариантах ($\gamma \approx 0.8$) [3].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Renqvist H.* Finlands jordskalv // Fennia. – 1930. – V. 54, N 1. – 113 p.
2. *Ассиновская Б.А., Карпинский В.В.* Ладожские сейсмические явления. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. – 57 с.
3. *Салтыков В.А.* О возможных проблемах оценки пространственно-временных особенностей представительности каталога землетрясений (на примере камчатского каталога Единой геофизической службы РАН) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о земле. – 2019. – № 3 (43). – С. 66–74. – DOI: 10.31431/1816-5524-2019-3-43-66-74. – EDN: KGYWPE

СВЕРХСДВИГОВЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ИХ ОПАСНОСТЬ

С.Б. Кишкина, к.ф.-м.н., А.М. Будков, д.т.н.
ИДГ РАН, г. Москва

Землетрясение называют сверхсдвиговым, когда скорость распространения разлома выше, чем скорость создаваемых сейсмических сдвиговых волн. За последние десятилетия интерес к изучению таких событий стал особенно заметен в научной литературе. Очевидно, что задача имеет не только фундаментальное значение для понимания механики землетрясения, но и весьма выраженный прикладной аспект для инженерной сейсмологии. Дело в том, что по сравнению с «обычным» землетрясением сверхсдвиговые или «быстрые» разрывы вызывают сильные сотрясения гораздо дальше от источника события (от разлома). Продуцируемые сверхсдвиговым землетрясением колебания значительно богаче высокими частотами, поскольку в группе поперечных волн на возникающих плоских фронтах, аналогичных фронтам Маха, амплитуда колебаний грунта затухает существенно медленнее, чем при «нормальных» субрелеевских разрывах [1].

Описываемый сценарий развития землетрясения приводит к повышенной опасности таких событий: они потенциально более разрушительны, чем другие типы землетрясений, и должны учитываться, например, при прогнозировании/оценке пиковых ускорений грунта [2]. Наряду с косвенными доказательствами, основанными на анализе сейсмических данных, в мире получены и прямые данные движения грунта в ближнем поле, подтверждающие, что землетрясение достигло сверхскоростной скорости [3].

Проведенные нами численные эксперименты [4] подтвердили существование двух различных механизмов перехода на сверхскорость. Скорость разрыва или плавно и непрерывно проходит через диапазон скоростей между скоростями Релея и сдвиговой волны, или инициируется дочерний разрыв. В этом случае материнский разрыв продолжает распространяться со скоростью ниже релеевской и, в конечном итоге, сливается с дочерним разрывом, скорость которого превышает диапазон скоростей релеевской волны до скорости сдвиговой волны.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Das S.** Supershear earthquake ruptures – theory, methods, laboratory experiments and fault superhighways: An update // Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology / Ed. A. Ansal. – Springer, 2015. – P. 1–20. – DOI: 10.1007/978-3-319-16964-4_1
2. **Causse M., Song S.G.** Are stress drop and rupture velocity of earthquakes independent? Insight from observed ground motion variability // Geophysical Research Letters. – 2015. – V. 42 (18). – P. 7383–7389. – DOI: 10.1002/2015gl064793
3. **Rosakis A., Abdelmeguid M., Elbanna A.** Evidence of early supershear transition in the Feb 6th 2023 Mw 7.8 Kahramanmaras Turkey earthquake from near-field records. – EarthArXiv preprints, 2023. – DOI: 10.31223/X5W95G
4. **Будков А.М., Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г.** Моделирование сверхсдвигового режима распространения разрыва по разлому с гетерогенной поверхностью // Физика Земли. – 2022. – № 4. – С. 135–150. – DOI: 10.31857/S0002333722040019. – EDN: WHLNMX

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ПРИБАЙКАЛЬЕ

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

Одной из актуальных задач является срочная оценка интенсивности сотрясений на территории населенных пунктов при землетрясениях. В Байкальском филиале (БФ) ФИЦ ЕГС РАН реализована оценка сейсмической интенсивности по произведению пиковых ускорений и скоростей колебаний грунта на сейсмических станциях в срочном режиме для ощутимых землетрясений. Сообщения приходят на электронную почту, время прихода зависит от качества связи (Интернет) на каждой сейсмостанции и в среднем составляет 1–3 минуты.

Оценки интенсивности сотрясений могут быть выполнены как по инструментальным, так и по макросейсмическим данным [1]. Особое значение при этом имеет уточнение корреляционных соотношений между инструментальными и макросейсмическими оценками [2]. Решение этой задачи прямо зависит от количества пар оценок «инструментальная–макросейсмическая интенсивность».

Поскольку инструментальные записи заведомо являются объективной информацией, приоритетное значение имеет повышение представительности макросейсмических данных как в аспекте их количества, так и качества. От этого зависит надежность макросейсмических оценок и, как следствие, точность корреляционных соотношений. В Восточной Сибири наиболее представительные макросейсмические данные поступают из крупных городов, при этом сейсмостанция имеется только в г. Иркутске. Это заметно ограничивает возможности получения данных для надежных оценок интенсивности на всей территории Восточной Сибири.

Расхождение в оценках по инструментальным и макросейсмическим данным при некоторых землетрясениях объясняется тем, что по инструментальным данным оценивается интенсивность сотрясений в пункте регистрации (в сейсмопавильоне на бетонном постаменте), а по макросейсмическим сведениям дается интенсивность на территории населенного пункта в целом (для слабых сотрясений, как правило, по ощущениям людей на верхних этажах зданий).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ Р 57546–2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
2. *Caprio M., Tarigan B., Worden C.B., Wiemer S., Wald D.J.* Ground motion to intensity conversion equations (GMICES): a global relationship and evaluation of regional dependency // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 2015. – V. 105. – P. 1476–1490. – DOI: 10.1785/0120140286

КАРТИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ S-ВОЛН В РАЙОНЕ Г. АЛМА-АТЫ

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

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Исследуются пространственно-временные характеристики поля поглощения короткопериодных поперечных волн в литосфере Северного Тянь-Шаня. Анализировались записи местных землетрясений и карьерных взрывов на эпицентральных расстояниях несколько десятков километров. Использовались сейсмограммы, зарегистрированные шестью стационарными и временными сейсмическими станциями (TLG, MDO, KNDC, INP, KASK и TAUT), установленными в г. Алма-Ате и его близких окрестностях. Описываются характеристики общих огибающих коды S-волн для разных секторов относительно станций. По этим данным построены разрезы поля поглощения для рассматриваемых станций. Сравняются характеристики поля поглощения к северу от Заилийского разлома (на южной окраине Казахской платформы) и к югу от разлома (в горных областях) [1].

Построены карты поля поглощения в разных диапазонах глубин и на различных азимутах по данным для всех станций. Выделены зоны высокого поглощения, где могут идти процессы подготовки сильного землетрясения.

Проведено сопоставление характеристик полей поглощения в районе Алма-Аты и для субмеридионального профиля, пересекающего Киргизский хребет. Отмечено, что поглощение S-волн в литосфере в целом значительно слабее в районе Алма-Аты [1].

Исследованы временные вариации поля поглощения в литосфере по записям взрывов на карьере Котур-Булак, полученным станциями MDO и TLG. Установлено, что в 1990–1995 гг. наблюдалось резкое увеличение поглощения в средней и нижней коре для трасс, пересекающих Заилийский разлом. Отмечено, что в этом интервале времени в районе Северного Тянь-Шаня произошли два сильнейших землетрясения, зарегистрированных здесь за последние 40 лет.

Полученные данные можно использовать для оценки сейсмической опасности района Алма-Аты и прилегающих территорий, для проектирования системы раннего предупреждения о сильных землетрясениях, а также для среднесрочного прогноза землетрясений.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственных заданий ИФЗ РАН (по теме FMWU-2022-0003) и ФИЦ ЕГС РАН (№ 075-01271-23).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Картирование поля поглощения S-волн по коде записей местных землетрясений и карьерных взрывов в районе Северного Тянь-Шаня // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. – Т. 18, № 4. – С. 241–252. – DOI: 10.21455/GPB2019.4-20. – EDN: RMOIUJ

НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ S-ВОЛН В ЛИТОСФЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТУРЦИИ И ИХ СВЯЗЬ С СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

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

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Рассматриваются характеристики поля поглощения S -волн в литосфере центральной Турции в районе, ограниченном координатами 35–40°N и 34–40°E. Анализировались записи коровых землетрясений, зарегистрированных станцией ANTO в 2002–2023 гг. в диапазоне эпицентральных расстояний ~320–610 км. Магнитуды событий с глубинами 0–33 км варьировались от 4.0 до 5.5, основную их долю составляли афтершоки Пазарджикского (06.02.2023 г., $M_w=7.8$) и Эльбистанского (06.02.2023 г., $M_w=7.5$) землетрясений. В общей сложности обработано более 80 сейсмограмм местных событий.

Использовались методы, связанные с анализом отношений максимальных амплитуд волн Lg и Pg , а также S_n и P_n (параметры $\lg(A_{Lg}/A_{Pg})$ и $\lg(A_{Sn}/A_{Pn})$, которые для краткости будем называть Lg/Pg и S_n/P_n соответственно). Параметр Lg/Pg характеризует интегральное поглощение короткопериодных S -волн в земной коре на всей трассе от эпицентра до станции. По отношениям амплитуд волн S_n и P_n можно судить о поглощении S -волн в верхах мантии в области эпицентра данного события. Предварительно проводилась узкополосная фильтрация (использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Гц). Получены корреляционные зависимости параметров Lg/Pg и S_n/P_n от расстояния. Поглощение S -волн оценивалось по отклонениям этих параметров от корреляционных зависимостей.

Установлено, что в земной коре в очаговой зоне Пазарджикского землетрясения преобладает пониженное и промежуточное поглощение. В то же время в зоне Эльбистанского землетрясения доминирует промежуточное и повышенное поглощение. Для параметра S_n/P_n разброс данных относительно линии регрессии выше, чем для параметра Lg/Pg . Выделены области очень контрастного поглощения в близких окрестностях эпицентров Пазарджикского и Эльбистанского землетрясений. Проведено сопоставление зависимостей $S_n/P_n(\Delta)$ для районов Байкальской рифтовой зоны, Памира, Туркмении и Северного Ирана, Кавказа и Центральной Турции [1–4]. Обсуждаются причины резкого различия корреляционных зависимостей $S_n/P_n(\Delta)$ в различных континентальных районах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственных заданий ИФЗ РАН (по теме FMWU-2022-0003) и ФИЦ ЕГС РАН (№ 075-01271-23).

ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S -волн в районе Байкальской рифтовой зоны и их связь с сейсмичностью // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 5. – С. 52–59. – DOI: 10.7868/S0203030614050058. – EDN: STHNXJ
2. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Неоднородности поля поглощения S -волн и кольцевые структуры сейсмичности в Памиро-Гиндукушском регионе: возможная подготовка сильных коровых землетрясений // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 3. – с. 43–50.
3. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Характеристики поля поглощения короткопериодных S -волн в литосфере Туркмении и северо-восточного Ирана и их связь с сейсмичностью // Сейсмические приборы. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 56–66. – DOI: 10.21455/si2020.1-5. – EDN: JKJSFJ
4. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Неоднородности поля поглощения S -волн в литосфере Кавказа и их связь с сейсмичностью // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. – Т. 18, № 3. – С. 67–76. – DOI: 10.21455/GPB2019.3-4. – EDN: YQSLFG

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ВОЛН РЕЛЕЯ НА ТЕРРИТОРИИ КАВКАЗА ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

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

Большой Кавказ вместе с Малым Кавказом и восточной частью анатолийского плоскогорья образует тектонически активную границу между Евразийской и Аравийской плитами. 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, начиная с 2017 г., в рамках реализации проекта [3] здесь была развернута целая сеть широкополосных сейсмостанций, что позволило активизировать исследования в этой области. Одним из широко используемых в последнее время методов для определения скоростной структуры верхних слоев Земли является метод шумовой сейсмотомографии. Он основан 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]. С помощью этого метода, при использовании вертикальной компоненты записей шума, были определены групповые и фазовые скорости волны Релея и построены двумерные карты распределения скоростей волн Релея в зависимости от периода для интервала периодов 7–22 с, результаты этого исследования были представлены в работе [6]. Однако в этой же работе указывалось на недостаточность использования данных только одной группы станций.

В представленной работе автор использует помимо данных сейсмостанций упомянутой сети также и данные других станций и показывает эффективность совместного использования данных различных сетей для построения общей картины распределения волн Релея в исследуемом регионе.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

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. – DOI: 10.1016/S0031-9201(00)00208-9
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. – DOI: 10.1016/j.jseaes.2016.01.010. – EDN: SFSKZN
3. *Sandvol E., Nabelek J., Mackey K.* The Caucasus seismic network: The uplift and structure of the Greater and Lesser Caucasus [Data set] // *International Federation of Digital Seismograph Networks [Site].* – 2017. – DOI: 10.7914/SN/XA_2017
4. *Lobkis O.J., 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 (6). – P. 3011–3017. – DOI: 10.1121/1.1417528
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. – DOI: 10.1126/science.1108339
6. *Королева Т.Ю.* Карты распределения скоростей волн Релея на территории Кавказа по данным кавказской сети CNET // *Российский сейсмологический журнал.* – 2020. – Т. 2, № 3. – С. 70–77. – DOI: 10.35540/2686-7907.2020.3.06

ТУАПСИНСКАЯ АКТИВИЗАЦИЯ В МАЕ 2023 Г.

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

Северный Кавказ относится к регионам с высокой сейсмической опасностью, хотя в некоторых районах Северного Кавказа последнее время не отмечается сейсмической активизации. Здесь регистрируются в основном слабые сейсмические события или вообще наблюдается сейсмическое затишье. К таким районам относится Северо-Западный Кавказ на участке от Новороссийска до Туапсе. По карте ОСР-97(2015) эта территория относится к 8–9-балльной зоне сейсмических воздействий. Именно Туапсинский район и является предметом нашего исследования. Учет результатов палеосейсмологических исследований [1] показал, что в этой части Северо-Западного Кавказа, плотно населенной и активно осваиваемой, могут быть очаги сильных землетрясений, которые не реализовались на протяжении истории сейсмических наблюдений. По данным [2], в районе Туапсе в конце 30-х гг. XIX в. известны ощутимые землетрясения – это 6–7-балльное землетрясение 21.07.1936 г. с $M=4.4$ и 7-балльный толчок 14.12.1936 г. с $M=4.3$, ощущавшиеся в Туапсе и получившие название Туапсинского роя. Основным землетрясениям Туапсинского роя предшествовал толчок 18.10.1935 г. (Туапсе – 3–4 балла, Майкоп – 5 баллов) и более слабые события. С 4 по 10 июня 1937 г. также наблюдался рой землетрясений с наиболее сильным толчком 04.06.1937 г., ощущавшимся в Архипо-Осиповке с интенсивностью $I=7$ баллов [3]. Из особенностей Туапсинского роя можно отметить его локальный характер. Очаг Туапсинского роя был связан с зоной Южно-Михайловского разлома, где обнаружен молодой разрыв сеймотектонического характера [1].

За последние 20 лет также можно отметить серии землетрясений в этом районе. Так, в 2010 г. возле Туапсе было зарегистрировано четыре слабо ощутимых (от 2–3 до 3 баллов) землетрясения 2, 8, 12 и 14 сентября с $K_p=9.4–9.9$, $M=3.3–3.8$. 30 апреля 2017 г. в течение трех часов реализовались четыре землетрясения с $M=3.3$. Землетрясение 26 апреля 2018 г. с $M=3.0$ ощущалось в Лазаревском с $I=2$ балла. Произошедшее 1 сентября 2020 г. в 00^h59^m землетрясение с $M=3.8$ ощущалось с максимальной интенсивностью сотрясений $I_{\max}=5$ баллов в Туапсе. С 13 по 25 мая 2023 г. зарегистрирован рой землетрясений с $M=1.5–3.7$, ряд землетрясений в рое ощущались в Туапсе до $I_{\max}=4–5$ баллов. Получены механизмы очагов двух землетрясений 01.09.2020 г. и 25.05.2023 г., которые представлены сбросами с небольшими сдвиговыми компонентами, их нодальные плоскости простираются вдоль Черноморского побережья (Черноморского разлома). Такой тип отличается от механизма самого сильного из известных в Причерноморье землетрясения 03.09.1978 г. с $M=5.5$ и эпицентром несколько севернее Туапсе, между Геленджиком и Архипо-Осиповкой, и представленного надвигом.

Таким образом, установленные ранее черты проявления сейсмичности в Туапсинском районе, а именно – роевые скопления очагов землетрясений, проявляющиеся компактно по площади, и значительные проявления интенсивности при умеренных значениях магнитуд, также проявляются в период современных наблюдений. Дополнительного исследования требуют механизмы очагов в этом районе.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

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. – EDN: ZPKBCV
2. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука, 1977. – 536 с.
3. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 149 с.

О ХАРАКТЕРЕ ПРОТЕКАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В РАЙОНЕ АКТИВНОЙ УГЛЕДОБЫЧИ НА О. САХАЛИН ПО ДАННЫМ ДЕТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

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

В 2021 г. были начаты детальные сейсмические наблюдения в Углегорском районе Сахалинской области, на территории которого расположен Солнцевский угольный разрез (СУР), где ведется активная добыча бурого угля и массово производятся взрывные работы. Для этого была развернута сеть сейсмических станций Сахалинского филиала (СФ) ФИЦ ЕГС РАН, которая позволила вести мониторинг слабой сейсмичности в районе СУР и с высокой точностью производить регистрацию промышленных взрывов на территории карьера. Основу сети составили широкополосные станции, размещенные в непосредственной близости от карьера, и базовая сейсмическая станция «Углегорск», оборудованная широкополосным сейсмометром и акселерометром. Первые результаты мониторинга в 2021–2022 гг. позволили выявить признаки сочетания природной и техногенной сейсмичности [1].

В 2022 г. сеть была расширена благодаря установке короткопериодных станций, что позволило создать оптимальную конфигурацию сети в районе карьера. Используя новую конфигурацию сети, в 2022–2023 гг. появилась возможность более детально отслеживать миграцию взрывов в пределах карьера и изменения формы записи взрывов, связанные с возможными совершенствованиями технологических процессов буровзрывных работ на карьере [2]. Проведены расчеты по определению зависимости локальной магнитуды регистрируемых событий от общей массы заряда короткозамедленного взрыва.

Результаты обработки землетрясений в 2021–2023 гг. показали, что произошло уменьшение глубины регистрируемых сейсмических событий в районе СУР. Если в 2021 г. землетрясения с глубиной гипоцентра 1–3 км составляли 12% от общего числа сейсмических событий, в 2022 г. – 20%, то за первый квартал 2023 г. такие события составили уже 57%.

Основным фактором, определяющим необходимость продолжения и развития детального сейсмического мониторинга Углегорского района, является расширение участков добычи угля открытым способом в 2023–2024 гг., а также ввод в эксплуатацию крупнейшего в РФ угольного конвейера протяженностью 23 км и начало строительства масштабного ветропарка, одного из самых больших на Дальнем Востоке РФ [3].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Костылев Д.В., Богинская Н.В.* Сейсмический мониторинг района угледобычи на о. Сахалин с использованием временных сетей ФИЦ ЕГС РАН // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13, № S2. – № 34. – DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0634. – EDN: KRAGGL
2. *Черских О.И., Галимьянов А.А., Гевало К.В.* Совершенствование буровзрывных работ на Солнцевском угольном разрезе // Уголь. – 2022. – № 7 (1156). – С. 45–52. – DOI: 10.18796/0041-5790-2022-7-45-52. – EDN: KZEZJM
3. *Лимаренко В.И.* Старейшая отрасль Сахалина // Уголь. – 2022. – № 8 (1157). – С. 56–57. – EDN: ICMCCT

К 50-ЛЕТИЮ МОНИТОРИНГА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИВОДОХРАНИЛИЩНОГО РАЙОНА ЗЕЙСКОЙ ГЭС

^{1,2}Н.В. Костылева, ^{1,2}Д.В. Костылев, ¹Т.А. Фокина
¹СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск
²ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

В марте 1964 г. в Амурской области на реке Зея было начато строительство Зейской ГЭС, которая в настоящее время является второй по мощности гидроэлектростанцией на Дальнем Востоке России. В октябре 1972 г. началось заполнение Зейского водохранилища. Поскольку заполнение водохранилища нередко является причиной наведенной сейсмичности, возникла необходимость наладить детальный сейсмический мониторинг на территории приводохранилищного района [1]. Первым шагом было открытие в 1974–1976 гг. четырех региональных сейсмических станций, окружающих Зейское водохранилище, в поселках Бомнак, Кировский, Ясный (в дальнейшем перенесенная в поселок Октябрьский) и в г. Зея. В 2014–2015 гг. станции Зейского куста были переведены на цифровые методы регистрации, благодаря чему Сахалинский филиал (СФ) ФИЦ ЕГС РАН начал проводить качественную оценку уровня сейсмической активности территории Зейского приводохранилищного района по методике «СОУС'09», разработанной в КФ ФИЦ ЕГС РАН [2].

В 2021 г., в связи с проблемами, связанными с передачей данных в режиме, близком к реальному времени, с труднодоступных станций «Бомнак», «Кировский» и «Октябрьский», там были установлены автономные сейсмографы ZET 7152-N VER.3, являющиеся принципиально новой разработкой российской компании ZETLAB. Эти приборы сочетают в себе функции акселерометра и короткопериодного велосиметра за счет использования сразу двух встроенных датчиков и предназначены для мониторинга сильных движений грунта, локальных сетей, временных установок, мониторинга строительных конструкций и инженерной сейсмологии.

В тот же период система сбора сейсмологической информации СФ ФИЦ ЕГС РАН о событиях в районе приводохранилищного района была дополнена данными, поступающими от Автоматизированной системы сейсмометрического контроля гидротехнических сооружений, установленной на Зейской ГЭС летом 2018 г. [3].

Вся сейсмологическая информация предназначена для проведения сводной групповой обработки на сейсмической станции «Зея», персонал которой в 2023 г. перешел на современные методы обработки сейсмических данных и подготовку информации о сейсмических событиях в приводохранилищном районе для отдела сводной обработки сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН, а также в оперативном режиме для Зейской ГЭС.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корчагин Ф.Г.* Геодинамика района Зейского водохранилища. – Владивосток: Дальнаука, 1994. – 144 с.
2. *Лихачева О.Н., Коваленко Н.С., Фокина Т.А.* Оценка уровня сейсмической активности района Зейского водохранилища по данным многолетних наблюдений СФ ФИЦ ЕГС РАН // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Шестой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 123–127. – EDN: OSCBDL
3. *Короленко Д.Б., Короленко Л.А., Кузьменко А.П., Сабуров В.С., Черепанов В.П., Шутко В.П.* Автоматизированная система сейсмометрического контроля технического состояния плотины Зейской ГЭС // Гидротехническое строительство. – 2019. – № 6. – С. 29–35. – EDN: NONNCK

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ СВАЙНОГО ТИПА НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

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

В связи с развитием методики контроля технического состояния инженерных сооружений исследуется связь температурных колебаний и изменений собственных частот здания свайного типа, находящегося на многолетнемерзлых грунтах. Объект исследования – Дворец культуры ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель», расположенный в г. Норильске, где в последние годы оттаивание грунтов несет потенциальную угрозу устойчивости инженерных сооружений. Предлагаемый СЕФ ФИЦ ЕГС РАН способ определения частот собственных колебаний по микросейсмическому шуму позволяет пронаблюдать влияние сезонных изменений на объект исследования.

Базовые значения частот собственных колебаний здания определены методом когерентного восстановления полей стоячих волн [1]. Текущие (ежедневные) значения частот определяются по амплитудным спектрам записей сейсмического шума (без активных источников), которые были получены при непрерывном сейсмическом мониторинге. Обработка шумовых записей проводилась при помощи программного обеспечения "SpectrumSeism" [2], разработанного специалистами СЕФ ФИЦ ЕГС РАН.

В течение года частоты существенно изменяются (в зимний период их значения выше на 11–12%, чем в летний), предположительно, из-за оттайки/промерзания верхней части грунта. На фоне этого изменения выявлены локальные колебания значений частот в связи с охлаждением/прогревом строительного материала здания преимущественно при положительной температуре окружающего воздуха (частоты растут прямо пропорционально температуре). Поскольку вид зависимости частоты от температуры до и после 0°C существенно изменяется, можно судить о том, что промерзание приводит к изменению жесткости конструкции (увеличению в зимний период времени). Из-за того, что частоты собственных колебаний здания, пройдя годовой цикл, не вернулись к исходной точке, а сместились, что объясняется предположительно разной глубиной оттайки грунта в летний период, мониторинг здания был продолжен, в первую очередь, для получения данных об изменении. Было выявлено, что значения частот первых мод собственных колебаний здания с течением времени имеют тенденцию к понижению. Наиболее вероятно, что это связано со снижением жесткости конструкции здания, которое может свидетельствовать как о разрушительных процессах в нем, так и о деградациии вечной мерзлоты. Для оценки воздействия этого явления на техническое состояние здания имеет смысл продолжать мониторинг исследуемого объекта.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Emanov A.F., Seleznev V.S., Bakh A.A., Gritsenko S.A., Danilov I.A., Kuzmenko A.P., Saburov V.S., Tatkov G.I.* Standing waves in engineering seismology // Russian Geology and Geophysics. – 2002. – V. 43, N 2. – P. 181–196. – EDN: TNSYOL
2. *Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Севостьянов Д.Б., Брыксин А.А.* SpectrumSeism // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021666241 от 11.10.2021.

РАЗВИТИЕ НАРУШЕННОЙ ЗОНЫ В ОКРЕСТНОСТИ СЕЙСМОГЕННОГО РАЗРЫВА

Г.Г. Кочарян, д.ф.-м.н., А.М. Будков, д.т.н.
ИДГ РАН, г. Москва

Многие модели, используемые при анализе процессов динамического распространения сейсмогенных разрывов, основаны на решении классических задач механики трещин. При этом предполагается, что разлом представляет собой одну из мод трещин сдвига с равномерно распределенным трением и концентрацией напряжений в носике. Известными теориями механики разрушения процесс формирования зон повреждения в направлении, перпендикулярном к плоскости трещины, не описывается. Геолого-геофизические данные свидетельствуют о наличии в окрестности разлома зоны поврежденного материала с повышенной трещиноватостью и проницаемостью, сниженными значениями скоростей распространения упругих волн. При этом сформировалось довольно устойчивое мнение о наличии обширной зоны нарушенных пород в окрестности магистрального разрыва на сейсмогенных глубинах. Эти представления лежат в основе некоторых расчетных моделей, претендующих на выявление тенденций развития сейсмического процесса в конкретной области. Корректные оценки свойств и размеров зон динамического влияния крайне важны для построения адекватных моделей подготовки землетрясений.

В предлагаемой работе проанализированы закономерности развития и количественные характеристики нарушенной зоны при квазистатической эволюции разлома и при динамическом распространении разрыва землетрясения. Для оценки геометрии и механических характеристик примыкающего к разлому материала, динамически нарушенного в результате подвижки вдоль поверхности скольжения, удобно использовать величину второго инварианта девиатора тензора деформаций (интенсивности сдвига). Чтобы поставить в соответствие расчетной величине ту или иную степень нарушенности массива, мы используем данные измерений при крупномасштабных взрывах [1], сопоставляя их с результатами расчета.

Показано, что образование зоны влияния разлома происходит, главным образом, на квазистатической стадии формирования единой магистральной зоны разлома при объединении отдельных макроразрывов. В дальнейшем, на сейсмогенных разломах в кристаллических породах, большая часть кумулятивного перемещения накапливается в ходе многократно повторяющихся косейсмических подвижек. Однократная динамическая подвижка по разлому приводит к относительно слабым изменениям свойств вмещающего массива, главным образом за счет раскрытия ранее существовавших трещин. Снижение скорости продольных волн в окрестности разрыва достигает величины 30–35%, проницаемость возрастает в несколько раз, а приращение степени трещиноватости оказывается практически незаметным. Накопление поврежденности при многократно повторяющихся косейсмических подвижках приводит к формированию зоны динамического влияния крупного разлома с характерным размером порядка 100–200 м по латерали. Радикальное изменение характеристик наблюдается лишь в узкой зоне в окрестности магистрального разрыва.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 22-17-00204).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кочарян Г.Г., Спивак А.А.* Динамика деформирования блочных массивов горных пород / Под ред. В.В. Адушкина. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 423 с. – EDN: QKEBXP

ФРАКТАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНЫ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

^{1,2}А.С. Куляндина

¹ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск

²СВФУ, г. Якутск

Пространственная структура эпицентрального поля землетрясений дельты реки Лены имеет весьма сложный неоднородный вид [1]. Эта неоднородность проявляется в геолого-геоморфологических характеристиках (тектонические нарушения, видимая структура верхних горизонтов земной коры, типы складчатости, рельеф и т.д.) и в характере геофизических полей. В пределах дельты реки Лены гравитационное поле представляет собой систему чередующихся линейных положительных и отрицательных аномалий, пространственная ориентация которых – близширотная и северо-западная, близкая к простиранию Оленёкской зоны складок. В области Оленёкского залива имеется крупный максимум магнитного поля с уровнем до 200 нТл, связанный здесь с высокой намагниченностью коренных пород. Эта магнитная аномалия территориально совпадает с Быковской аномалией поля силы тяжести. В целом на территории исследуемого района проявления гравитационного и магнитного полей в пространстве тяготеют друг к другу, указывая на наличие здесь коровой неоднородности в геофизических полях [2].

Совокупность сейсмических событий в пространстве имеет вид точечных множеств [3]. Фрактальная особенность как сейсмического процесса, так и среды, в которой он протекает, проявляется в значениях фрактальной размерности и выражается в законе повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера [4]. Исходя из гипотезы фрактальности множества пространственного сосредоточения эпицентров землетрясений, проведена оценка параметров этого закона на территории дельты реки Лены.

В работе использованы данные каталога землетрясений ЯФ ФИЦ ЕГС РАН за 1963–2022 гг. и материалы совместной работы с Полярным институтом им. Альфреда Вегенера, Гельмгольтцским центром полярных и морских исследований (Германия) и Институтом океанологии им. Ширшова РАН (Москва) за 2016–2017 гг. [5]. За период исследования максимумы фрактальной размерности эпицентров землетрясений совпадают с пространственным положением эпицентров сильных толчков и их афтершоков, и качественно соответствуют тектонической раздробленности рассматриваемого района.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Козьмин Б.М., Шибяев С.В., Петров А.Ф., Тимиршин К.В.* Лено-Таймырская аномалия сейсмоактивной среды на шельфе моря Лаптевых // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2014. – № 2 (74). – С. 105–110. – EDN: SUFCYZ
2. *Трофименко С.В.* Структура и динамика геофизических полей и сейсмических процессов в блоковой модели земной коры / Дисс. на соиск. уч. степ. д-ра геол.-мин. наук. – Нерюнгри: Томский политехнический университет, 2011. – С. 223. – EDN: QFLURP
3. *Валеев С.Г., Фасхутдинова В.А., Леванова Н.В.* Применение фрактального анализа для изучения землетрясений // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2008. – № 2. – С. 19–22. – EDN: QZYCGL
4. *Захаров В.С.* Характеристики самоподобия сейсмичности и сетей активных разломов Евразии // ГЕОразрез. Электронное научное издание. – 2008. – № 1. – С. 10–17.
5. *Шибяев С.В., Geissler W., Козьмин Б.М., Туктаров Р.М., Макаров А.А.* Сейсмичность Якутии в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.) – С. 187–195. – DOI: 10.35540.1818-6254.2022.25.16. – EDN: XTGLLR

ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РФ

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

Территорию Северо-Востока РФ можно разделить на западную часть (Магаданская область) и восточную (Чукотка). В регионе сейсмостанции расположены крайне неравномерно. В Магаданской области действуют 11 станций, на Чукотке – всего четыре. Чукотка входит в Арктическую зону России, этот регион обладает значительными запасами полезных ископаемых и является районом с активной горнодобывающей деятельностью. В то же время эта территория характеризуется высокой сейсмичностью. Именно на Чукотке в 1928 г. наблюдалось одно из наиболее сильных землетрясений с $MS=6.9$ всего Северо-Востока [1]. Работу на Чукотке осложняет немало факторов. Доступ специалистов к станциям затруднен в любое время года. В связи с этим к аппаратному обеспечению сейсмостанций должны предъявляться высокие требования. Целью исследований является определение способов, улучшающих уровень представительной регистрации землетрясений и ее связь с аппаратным оснащением станций на Северо-Востоке РФ.

Все станции Северо-Востока с 2004 г. – цифровые. Цифровая аппаратура позволяет фиксировать большее количество сейсмических событий по сравнению с аналоговой регистрацией, при этом энергетический порог представительной регистрации снизился, оперативность информирования о сильных землетрясениях возросла. Представительность сейсмических событий на Северо-Востоке России постоянно меняется по площади и во времени. Однако она улучшалась только на территории Магаданской области, на Чукотке аппаратура часто выходила из строя, станции простаивали, а параметры землетрясений заимствовались из бюллетеня ISC. В связи с этим основными задачами последних лет стали работы по модернизации аппаратурной части сейсмической сети, оптимизации хранения первичных наблюдений в виде баз данных и организации доступа к ним. Приобретены и установлены регистраторы «Ермак-5», в которых присутствуют опции, необходимые для работы в условиях Крайнего Севера [2].

В результате выполненных работ станции Чукотки работают практически непрерывно. Прекратились сбои в работе каналов времени. Налажена автоматическая непрерывная передача данных, появились возможность удаленного контроля работы оборудования, удобство в настройке и минимальное энергопотребление. Увеличилось количество локализованных событий. В регионе с 2019 г. обеспечивается уверенная регистрация землетрясений с $K_p \geq 10$, в Магаданской области $K_{min}=5$, на Чукотке $K_{min}=8$. Следовательно, регистрация землетрясений минимального энергетического класса в сложных климатических и транспортных условиях определяется не только чувствительностью станций и густотой сети, но и типом аппаратуры, наличием удаленного контроля работы оборудования.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшина Е.И., Годзиковская А.А., Гунбина Л.В., Коломиец М.В., Седов Б.М. Сводный каталог землетрясений Северо-Востока России с древнейших времен по 1974. – Обнинск, Магадан: ГС РАН, 2015. – 152 с.
2. Бутырин П.Г., Верхованцев Ф.Г. Интеграция регистратора «Ермак-5» в региональные сети сейсмологического мониторинга // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 17–17.

СЕТЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАРЕЛИИ

А.А. Лебедев, И.А. Зуева
ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Фенноскандинавский щит в его российской части обычно не отражается на картах сейсмического районирования как территория с сейсмической опасностью. Однако в XX в. были обнаружены и изучены следы землетрясений послеледникового времени [1]. Данные исследования показали, что разные части Карелии испытывали сильные и даже разрушительные землетрясения. Мониторинг территории является весьма актуальной задачей. Контроль сейсмической опасности возможен только при установлении связи особенностей глубинного строения территории с проявлением сейсмической активности как сильных, так и слабых землетрясений, а значит, возникает необходимость организации плотной сети сейсмических станций на территории Карелии.

Сейсмическая опасность Карелии определяется сейсмической активностью в пределах палеорифта Кандалакша-Двина и Ладожско-Ботнической шовной зоны, а также активными взрывными работами практически на всей ее территории. В 1999 г. был установлен первый стационарный пункт сейсмологических наблюдений на территории Карелии. Под руководством доктора геолого-минералогических наук, профессора Н.В. Шарова запущена сейсмостанция «Петрозаводск», расположенная в Ботаническом саду Петрозаводского государственного университета. Акселерометр на базе системы сбора геофизических данных Cossack Ranger I (CR-I) был усовершенствован, и в дальнейшем его модификация Cossack Ranger II (CR-II) с системой сбора была опробована на трех других стационарных пунктах Карелии. В январе 2013 г. вблизи Петрозаводска был установлен широкополосный сейсмометр CMG-3ESP (регистратор GSR-24), комплект бесперебойного питания и передачи данных по сети Интернета. В этом же месяце была открыта геофизическая обсерватория [3]. В 2015 г. начались модернизация и обновление аппаратуры сейсмической сети, переход на новые методы сбора, анализа и обработки данных. Карельская сейсмическая сеть (международный код центра – IGKRC) включает в себя четыре широкополосные сейсмические станции Guralp, регистрирующие как телесеismicкие, так и региональные сейсмические события. Локальный информационно-обрабатывающий центр расположен в Институте геологии КарНЦ РАН.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 23-27-10002, <https://rscf.ru/project/23-27-10002/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Никонов А.А., Шварев С.В.* Сейсмолинементы и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Материалы Международной конференции «Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности». – Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) СВФУ, 2015. – С. 243–251. – EDN: USOIQD
2. *Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы* / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн. 1: Землетрясения. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 381 с. – EDN: QKGNRR
3. *Шаров Н.В.* Геофизическая обсерватория «Петрозаводск» // Геодинаміка. – 2013. – № 2. – С. 364–366.

КОНТРОЛЬ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГЭС ПО МАЛОАМПЛИТУДНЫМ СЕЙСМИЧЕСКИМ СИГНАЛАМ

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

Для оперативного дистанционного контроля разрушительных процессов при эксплуатации крупных промышленных объектов разработана малозатратная методика надежного их обнаружения по данным мониторинга малоамплитудных сейсмических сигналов. Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН» ведет наблюдения на сейсмически активных территориях Российской Федерации сейсмологической сетью из 364 станций [1], причем часть из них расположена в окрестностях важных и дорогостоящих промышленных объектов (ГЭС, ТЭЦ, АЭС, заводы и др.). Современные станции оснащены высокочувствительной цифровой аппаратурой для регистрации событий природного и техногенного характера (землетрясений, промышленных взрывов), при этом одновременно регистрируется и непрерывный сейсмический шум. Зарегистрированные в режиме, близком к реальному времени, сейсмограммы передаются в обрабатывающие центры и хранятся неограниченное время в виде цифровых архивов, доступных для исследования по ряду станций с конца 1990-х – начала 2000-х годов. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС 17.08.2009 г. с разрушением дорогостоящего имущества и человеческими потерями заставила задуматься о разработке способов оперативного дистанционного контроля разрушительных процессов по архивным материалам мониторинга. Так, при гармоническом анализе сейсмического шума выясняется, что в его техногенной составляющей регистрируются малоамплитудные сигналы от колебания различных объектов, расположенных даже в нескольких километрах от сейсмической станции. К таким колебаниям относятся вибрация оборудования при работе крупных промышленных объектов, а также собственные колебания зданий и технических сооружений. При развитии каких-либо нештатных ситуаций характеристики этих колебаний, несомненно, изменятся. Располагая современными способами выделения из сейсмического шума малоамплитудных (на порядки ниже уровня фона) сигналов от колебаний конкретного объекта [2], можно снизить риски аварий с разрушением дорогостоящих сооружений, избежать человеческих потерь. А главное, с использованием архивных данных контролировать долговременное (измеряемое годами и даже десятилетиями) изменение устойчивости сооружений и работающего оборудования, остро необходимое при расследовании нештатных ситуаций (как при аварии на Саяно-Шушенской ГЭС).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дягилев Р.А., Сдельникова И.А. Уникальная научная установка «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13, № 2. – 15. – DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0591. – EDN: VEZKYH
2. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Севостьянов Д.Б., Брыксин А.А. SpectrumSeism // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021666241 от 11.10.2021. – EDN: ЖКТЕХ

К ВОПРОСУ ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЗМА ОЧАГА ЦУНАМИОПАСНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

¹Е.В. Лисунов, ^{2,3}С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Владивосток

²СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

³ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Начиная с 2012 г., Тихоокеанский океанологический институт (ТОИ) ДВО РАН проводит непрерывный мониторинг вариаций гравитационного поля Земли [1], используя специальный приливной гравиметр (США), установленный на морской экспериментальной станции ТОИ ДВО РАН «Мыс Шульца», где организован стационарный гравиметрический пункт. В измерениях с целью привлечения их результатов для сейсмологических исследований принимают участие сотрудники ФИЦ ЕГС РАН [2].

В соответствии с регламентом РИОЦ (г. Владивосток), под цунамиопасными землетрясениями понимаются подводные сейсмические события с магнитудой $M \geq 7$ и глубиной очага до 120 км. Однако не все они являются цунамигенными. Считается, что одним из факторов для образования цунами является механизм очага землетрясения [3]. Как правило, к образованию цунами приводят сбросо-взбросовые подвижки в земной толще.

При выполнении оперативной обработки сейсмологических наблюдений в дальневосточном регионе важным моментом является принятие решения объявления тревоги по возможности возникновения цунами. В качестве дополнительного признака цунамиопасного землетрясения рассматривается использование частотной обработки сигнала с применением низкочастотного фильтра Баттерворта при анализе волновых форм гравиметрических записей с целью определения характера подвижек в очаговых областях.

В работе на примерах исследования сейсмических сигналов на гравиметрических записях от нескольких очагов сильных землетрясений в акватории Тихого океана (в районах Индонезии, о-вов Фиджи, Папуа-Новой Гвинеи, Японии) показаны возможности оценки характера механизма очагов сильных подводных землетрясений и приведены сведения о регистрации волн-цунами.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. Серия: Науки о Земле. – 2015. – № 3 (27). – С. 71–79. – EDN: URQKER
2. Горожанцев С.В., Лисунов Е.В. О результатах совместных сейсмических и гравиметрических наблюдений в Приморском крае в 2016–2017 годах // Теория и практика разведочной и промышленной геофизики: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Вып. 1 (6). – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018. – С. 128–134. – EDN: YXPUPJ
3. Рогожин Е.А., Захарова А.И. Сейсмоструктура очаговых зон цунамигенных землетрясений // Геофизические исследования. – 2006. – № 6. – С. 3–12. – EDN: KUGODV

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПРИ ОБОСНОВАНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛОЩАДОК АЭС

¹И.Ю. Лободенко, к.г.-м.н., ^{1,2}С.Б. Кишкина, к.ф.-м.н., ¹Е.Г. Бугаев, д.т.н.
¹ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва
²ИДГ РАН, г. Москва

В российской практике при проведении инженерных изысканий и исследований района и площадки размещения АЭС должно быть рассмотрено землетрясение любого генезиса, как природного, так и вызванного деятельностью человека, если оно способно оказать влияние на безопасность АЭС [1, 2]. Следовательно, помимо традиционного анализа естественной сейсмичности необходимо анализировать потенциальную возможность возникновения достаточно крупных техногенных землетрясений с магнитудами более 4.5, появление которых способно изменить оценку безопасности площадки АЭС. В ходе такого анализа могут появиться дополнительные, не учитываемые в настоящий момент источники возникновения очагов землетрясения, могут быть изменены характеристики уже известных разломных зон и, соответственно, может быть изменена/увеличена оценка частоты и/или величины M_{\max} . Вероятнее всего, техногенная сейсмичность не будет превышать ожидаемую (вероятную) максимальную величину естественного землетрясения для анализируемого разлома. Но возможно сокращение сроков возникновения такого события, то есть следует предполагать, что антропогенная деятельность может ускорить возникновение уже подготовленного естественными условиями землетрясения.

Подходы, используемые при анализе техногенных землетрясений и определении их ключевых параметров, в российских [1, 2] и международных нормативных документах [3, 4] в целом схожи.

Реальная практика учета техногенных землетрясений при анализе сейсмической опасности и прогнозных расчетах разработана за рубежом и не в полном объеме применяется в России, хотя такая необходимость предусмотрена нормативными документами. При этом достаточно использовать все накопленные знания и достижения, разработанные для естественной сейсмичности, просто расширив зону внимания на области расположения предприятий или инженерных объектов, которые могут стать потенциальными провокаторами крупных техногенных землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии.** Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. НП-064-17. Утв. приказом Ростехнадзора от 30.11.2017 г. № 514.
2. **Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии.** Площадка атомной станции. Требования безопасности. НП-032-19. Утв. приказом Ростехнадзора от 19.07.2019 г. № 287.
3. **Проект норм безопасности МАГАТЭ DS520.** Учет внешних опасностей техногенного происхождения при оценке площадок для ядерных установок. – Вена: МАГАТЭ, 2022.
4. **Серия норм безопасности МАГАТЭ.** Оценка площадок для ядерных установок. Конкретные требования безопасности. – Вена: МАГАТЭ, 2019. – № SSR-1.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

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

Рои землетрясений, предположительно, возникают накануне сильных землетрясений, очаги которых формируются в земной коре из структурных неоднородностей, насыщенных высокотемпературными массами в течение 1.5–2 лет [1–4].

Для выявления физико-математических критериев распознавания роев землетрясений в сейсмичности Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий применялся метод графической кластеризации (МГКл) [3, 4]. При распознавании роев землетрясений были получены физико-математические критерии. Так, для территории, ограниченной координатами 39–46°N и 70–85°E, в 2017–2023 гг. характерны землетрясения с $K \geq 7$ [1]. Процесс формирования роя можно сравнить с процедурой пространственного группирования сейсмических событий [4]. Некоторые, наиболее общие, качественные характеристики группирования землетрясений с $K \geq 9$ ($M = 2.8$) в Северном Тянь-Шане приведены в [2, 3]. За радиус вероятного группирования было принято 18–20 км. При этом количество группирующихся землетрясений составило 10% от объема выборки [1–4]. Устойчивые группы кластеров размером не более 20–25' угловой меры (т.е. размера очаговых зон землетрясений с $M = 6–7$ в районе исследования) формируются при расстоянии между событиями $L \leq 10'$. Физико-математические критерии роев землетрясений связаны с количеством землетрясений в самом рое (группе). Вероятность попадания трех случайных событий в область радиусом $L = 10'$ настолько мала, что ею можно пренебречь. За рой принимается группа, в которой число землетрясений $N \geq 3$, без ограничения N по максимальной величине. Для более строгого описания роя необходимо ввести еще один физико-математический критерий. Рой землетрясений может существовать минуты, часы, а также может просуществовать более длительное время – месяцы и даже годы. Поэтому рой нельзя охарактеризовать ни числом событий N , ни временем жизни роя. Следующим физико-математическим критерием является время между землетрясениями в рое ($0 < t_{\text{роя}} < 26 \text{ сут.}$). Представленные критерии и их численные характеристики дают более точную физико-математическую зависимость при распознавании роев землетрясений в сейсмичности региона исследования. На основе физико-математических критериев распознавания роев землетрясений были построены карты-схемы распределения роев для территории Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каталог землетрясений* / Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Республики Казахстан [Электронный ресурс]. – URL: <http://some.kz/index.php?p=card&outlang=1&oid=9>
2. *Курскеев А.К.* Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. – Алматы: Эверо, 2004. – 504 с.
3. *Литовченко И.Н., Лютикова В.С.* Распознавание роя землетрясений // Первый Национальный конгресс по когнитивным исследованиям, искусственному интеллекту и нейроинформатике. Девятая Международная конференция по когнитивной науке: Сборник научных трудов. В двух частях. Ч. 1 / Отв. ред. В.Л. Ушаков, И.И. Русак. – М.: НИЯУ МИФИ, 2021. – С. 282–285.
4. *Лютикова В.С.* Рои землетрясений как реакция энергонасыщенных структур земной коры на воздействие астрофизических факторов // Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации. Материалы Всемирного Конгресса инженеров и ученых / Под ред. Н.А. Абыкаева, Б.Т. Жумагулова. Т. 4. – Алматы: Luxe Media Group, 2017. – С. 328–331.

О ГУНИБСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 8 ДЕКАБРЯ 2022 Г.

Х.Д. Магомедов, О.А. Асманов, к.ф.-м.н.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

В Гунибском районе, на территории сланцевого Дагестана, 8 декабря 2022 г. в 06^h42^m произошло землетрясение с интенсивностью сотрясений в эпицентре 6 баллов. Ближайшим к эпицентру населенным пунктом было селение Гуниб, которое и дало название землетрясению. По инструментальным данным в Дагестанском филиале (ДФ) ФИЦ ЕГС РАН получено следующее решение параметров гипоцентра землетрясения: $\varphi=42.23^{\circ}\text{N}$; $\lambda=46.87^{\circ}\text{E}$; $h=30$ км; $K_p=14.3$ [1]. Сведения о макросейсмических проявлениях землетрясения получены от сотрудников сейсмостанций региональной сети и путем телефонного опроса населения по 37 населенным пунктам Республики Дагестан. Оценка интенсивности землетрясения основана на реакции населения, предметов и объектов в соответствии со шкалой ШСИ-17 [2]. По результатам анализа полученной информации составлена карта интенсивности сотрясений (карта изосейст) землетрясения. В результате Гунибского землетрясения в Гумбетовском районе Дагестана произошел камнепад, в результате которого на автодороге Хасавюрт–Тлох был поврежден автомобиль «Лада Веста». В машине находились четыре человека, в том числе и ребенок. Трое пострадавших легкой степени тяжести были доставлены в больницу, а ребенок получил тяжелые травмы.

В эпицентральной зоне частично пострадали отдельные дома: появились тонкие трещины в стенах и перекрытиях; в стенах и перегородках появились косые и близкие к вертикали сквозные трещины с раскрытием в 1–3 мм; возникли трещины, оконтурившие по периметру оконные и дверные проемы; отвалились куски штукатурки на потолках. Землетрясение здесь ощущалось большинством людей как внутри помещений, так и под открытым небом.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адилев З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагателова Е.Ю., Шахмарданова С.Г. Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2022 г. – Махачкала: Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – 95 с.
2. *ГОСТ Р 57546–2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146265>

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ СЕТИ НАКЛОНОМЕРНЫХ СТАНЦИЙ НА КАМЧАТКЕ В 2020–2022 ГГ.

**Е.О. Макаров, к.ф.-м.н., В.Е. Глухов, И.П. Глухова
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский**

Наклономерные наблюдения занимают особое место в современной геодинимике. Самым чувствительным методом измерения геодеформаций является наклономерно-деформометрический [1].

Существует ряд факторов, оказывающих существенное воздействие на результаты регистрации наклонов земной поверхности, которые сложно учесть: особенности геологического строения места наблюдения, вариации атмосферного давления, сезонный и суточный температурный ход и т.п. Для наклонов, не связанных с приливными деформациями, получение количественных характеристик действующих сил обычно сопряжено с большими трудностями, либо в принципе невозможно. Такие наклоны рассматриваются с целью изучения влияния вариаций напряженно-деформированного состояния геосреды на деформацию дневной поверхности, в т.ч. как возможный прогностический признак землетрясений в сейсмоактивных районах или извержений вулканов.

На полуострове Камчатка наклономерные наблюдения в районе Ключевской группы вулканов проводились в конце 1970-х гг. [2]. После длительного перерыва в 2010 г. на Камчатке были возобновлены наблюдения за наклонами земной поверхности. В 2017 г. наблюдения были прекращены, часть станций была демонтирована. В 2019 г. было принято решение о возобновлении постоянных наклономерных наблюдений в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН под руководством д.ф.-м.н. П.П. Фирстова. При поддержке РФФИ были восстановлены и созданы заново восемь пунктов наблюдений. Целью наблюдений является получение дополнительной информации о медленных движениях земной поверхности, обусловленных различными геодинимическими явлениями. В первую очередь это относится к изучению связи деформации земной поверхности с региональной сейсмичностью, а также с подготовкой и динамикой вулканических извержений. Помимо изучения медленных движений, сеть наклономерных станций может использоваться для изучения земных приливов. Основной технической задачей при создании наклономерной сети являлась организация в автоматическом режиме сбора, предварительной обработки и распределенного хранения данных. Был создан и внедрен в эксплуатацию аппаратно-программный комплекс, который решает эту задачу.

Дальнейшее развитие комплекса предполагает создание дополнительных программных модулей обработки, которые могут быть выборочно использованы в зависимости от текущей задачи. В перспективе необходимо расширение сети автономных станций, что, в свою очередь, потребует конкретных технических и программных решений в области обеспечения питания, хранения данных, решения проблем, связанных с условиями установки регистрирующей аппаратуры, изменения текущих параметров обработки.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузьмин Ю.О.* Современная геодинимика от движений земной коры до мониторинга ответственных объектов // Физика Земли. – 2019. – № 1. – С. 78–103. – DOI: 10.31857/S0002-33372019178-103. – EDN: SLJIX
2. *Жаринов Н.А. и др.* Об изучении деформаций земной поверхности на Ключевском вулкане (1978–1982 гг.) // Вулканология и сейсмология. – 1984. – № 4. – С. 67–75.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ТИМПТОНО-УЧУРСКОГО БЛОКА (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)

А.А. Макаров, Б.М. Козьмин, к.г.-м.н.
ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

Тимптоно-Учурский блок (Т-У) расположен в центральной части Алдано-Станового щита на юге Якутии в междуречье Тимптона (на западе) и Учюра (на востоке) – правых притоков реки Алдан. Блок является сегментом Олёкмо-Становой сейсмоструктурной зоны (ОСЗ) и имеет сравнительно низкий уровень сейсмичности. По нашим расчетам, суммарная высвободившаяся сейсмическая энергия (ΣE) в блоковой модели ОСЗ уменьшается с запада на восток, а процентный вклад Т-У в ΣE составляет 18%. Т-У расположен на северном продолжении субдолготных горных хребтов, протягивающихся от Северного Приамурья (хребты Тайканский, Ям-Алинский, Дуссу-Алинский и др.) [1] в сторону Южной Якутии, которые возникли в результате взаимодействия Амурской, Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит. Однако со стороны Тихоокеанской плиты к востоку от этих орогенных сооружений происходит задуговое растяжение земной коры, которое приводит к затуханию сейсмической активности и препятствует накоплению в Т-У значительных тектонических напряжений, вызывающих сильные землетрясения.

На фоне слабой сейсмической активности в Т-У здесь было зарегистрировано Гонамское землетрясение 4 января 2014 г. с магнитудой 5.4 ($K_p=14.2$). Оно приурочено к области пересечения двух крупных разломов различного ранга – Тыркандинского (регионального) и Гонамского (локального). Афтершоковый процесс развивался вдоль Тыркандинского разлома в северо-западном направлении с очагами на глубинах 5–26 км и вдоль Гонамского разлома в северо-восточном направлении с очагами на глубинах 5–16 км. Таким образом, все подвижки локализованы в верхней части земной коры при доминирующем участии Тыркандинского разлома. Это подтверждается присутствием в зоне этого разлома Тимптонского мантийного поднятия, установленного по методике Ю.Ф. Сапрыкина [2].

В Т-У зафиксировано около 2 тыс. подземных толчков с $K_p \geq 7.6$. С целью достоверной оценки сейсмических параметров были выделены и исключены группы эпицентров, связанных с промышленными взрывами. Была произведена кластеризация данных за период инструментальных наблюдений 1963–2021 гг. на базе пакета ArcGIS при помощи инструмента Density-based Clustering (Spatial Statistics) – Self-adjusting (HDBSCAN), который находит группы точечных объектов среди окружающего шума на основе их пространственного распределения [3]. В результате было выделено три кластера (Усмунский, Гонамский и Верхне-Токинский), локализация которых подтверждает ромбическую структуру сети современных разломов Алдано-Станового щита.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Поздняков И.В.** Мерзлые породы Северного Приамурья. – Якутск: ИМЗ СО РАН, 1996. – 176 с.
2. **Стогний Г.А., Стогний В.В.** Геофизические поля восточной части Северо-Азиатского кратона. – Якутск: Сахаполиграфиздат, 2005. – 174 с.
3. **Mapping Clusters toolset** // Esri [Site]. – URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/densitybasedclustering.htm> (дата обращения 25.04.2023).

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ЗА 2022 Г.

Г.А. Мамбетова, М.О. Омуралиев, к.г.-м.н.
ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

Тянь-Шань в целом, ограниченный с юга плитой Тарим и областью горообразования Памир, а с севера – Казахским щитом и Туранской плитой, является областью горообразования и состоит из иерархии активных блоков, поднятий, впадин и разломов. Тянь-Шань, как блок первого порядка, разделяется на блоки второго порядка (Центральный, Восточный и Западный) с Джунгарской (ДЖР) и Таласо-Ферганской (ТФР) зонами разломов северо-западного простирания [1].

В качестве исходных данных используются ежесуточные каталоги землетрясений Института сейсмологии НАН КР, составленные по материалам сетей цифровых сейсмических станций Кыргызстана, Казахстана, Китая и Узбекистана с учетом данных USGS в границах $\varphi=39-44^{\circ}\text{N}$, $\lambda=69-81^{\circ}\text{E}$. В последовательности землетрясений в месячных, квартальных и годовых интервалах (масштабах) времени поэтапно выделяются относительно максимальные значения, в частности, энергетического класса. Одновременно по ходу проявления землетрясений поэтапно составляется серия графиков кумулятивной сейсмической энергии. На каждом графике кумулятивной сейсмической энергии определяются нелинейные и линейный тренды. Проводятся через верхний и нижний пределы флуктуации кумулятивной сейсмической энергии верхняя и нижняя линии графика, параллельные линии тренда. Угловым коэффициентом уравнения линейного тренда в отдельно взятом интервале времени выражает скорость высвобождения сейсмической энергии [2].

Данная методика позволяет повысить точность и расширить функциональную возможность оценки средне- и краткосрочной опасности, а именно – определение силы и времени ожидаемого сильного землетрясения. Местом землетрясения является либо отдельно взятый активный блок определенного иерархического уровня, либо зона активного разлома или динамический сегмент активного разлома [3–5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамбетова Г.А., Абдрахматов К.Е., Омуралиев М. Мониторинг последовательности проявления землетрясений Кыргызстана и приграничных районов соседних стран за 2020 г. // Современная техника и технологии в научных исследованиях. Сборник материалов XIV Международной конференции молодых ученых и студентов. – Бишкек: НС РАН, 2022. – С. 87–93.
2. Мамбетова Г.А., Омуралиев М.О., Омуралиева А.М. Мониторинг последовательности землетрясений Тянь-Шаня и районов соседних регионов за 2012–2021 гг. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2022. – № 2 (20). – С. 41–48.
3. Омуралиев М., Омуралиева А.М. Средне- и краткосрочная сейсмическая опасность Тянь-Шаня и иерархия динамики сейсмических процессов (на территории Кыргызстана и приграничных районов соседних стран). – Бишкек: ОСОО «Триада Принт», 2016. – 116 с.
4. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населенных пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. – Бишкек: ОСОО «Триада Принт», 2019. – 98 с.
5. Омуралиев М., Омуралиева А. Способ определения силы и времени суток среднего и крупного ожидаемого землетрясения системы сейсмогенерирующих зон / Патент КГ № 1369 от 31.06.2011 г.

О ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОВЕНЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАЙОНАХ Г. БАКУ

Ф.З. Мехдизаде
РЦСС при НАНА, г. Баку, Азербайджан

Эффект проявления землетрясений на земной поверхности зависит от многих факторов – их магнитуды (M), эпицентрального расстояния (Δ) и глубины (H) [1]. Помимо перечисленных факторов, на уровень сейсмической опасности оказывают влияние местные инженерно-геологические, гидрогеологические и геоморфологические условия. Общий (фоновый) уровень сейсмической опасности регионов оценивается на основании карты общего сейсмического районирования (ОСР). На уровень сейсмической опасности на локальных территориях (строительных площадках) сильное влияние оказывают также параметры образований, слагающих часть геологического разреза, близкую к поверхности земли, – строение, литологический состав, физико-механические и гидрогеологические свойства, мощность слоев, рельеф земной поверхности и др. [2].

В связи с этим необходимо учитывать влияние инженерно-геологических и гидрогеологических факторов на уровень сейсмического воздействия при проведении строительных работ в сейсмоактивных районах, особенно на стратегически важных объектах, высотных зданиях.

При строительстве высотных зданий на территории Абшеронского полуострова инженерно-геологические и гидрогеологические исследования позволили создать большую базу данных параметров грунтов. На основе этих базовых данных исследовано влияние инженерно-геологических, гидрогеологических, геоморфологических и других воздействий на действие сейсмической опасности.

Изучено наличие подземных и напорных (артезианских) вод в местах строительства, и выявлены изменения физико-механических свойств грунтов и прочностных показателей данной местности в отрицательную сторону, а также нарушения монолитности горных пород, которые вызывают повышение уровня сейсмической опасности. Также было изучено увеличение уклона, которое создает благоприятные условия для обрушения зданий за счет веса воды на участках с водой, а смачивание мягких пород приводит к оползням [3].

Проблема оценки угроз и рисков, возникающих при развитии геологических процессов, весьма актуальна. Любая инженерная деятельность воздействует на геологическую среду, создает соответствующие изменения в этой среде, обеспечивает долговечность осуществляемого строительства с геологической средой и изменяется в зависимости от инженерно-геологической деятельности как основного вопроса инженерной геологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шебалин Н.В.* Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука, 1974. – 53 с.
2. *Заалишвили В.Б.* Некоторые проблемы практической реализации сейсмического микрорайонирования. Факторы, формирующие интенсивность землетрясения // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – № 3. – С. 3–39. – EDN: SKWYVT
3. *Отчеты об определении сейсмического балла территорий, отведенных под строительство планируемых зданий и сооружений* (за 1997–2022 гг.). – Баку: Фонды РЦСС при НАНА, 1998–2023.

ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОРОНОК ГАЗОВОГО ВЫБРОСА ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

А.М. Милехина
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Начиная с 2013 г., в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) начали обнаруживать воронки газового выброса довольно внушительного размера. На сегодняшний день на полуостровах Ямал и Таймыр выявлено более 30 таких объектов [1]. Очевидно, что их появление в Арктике носит систематический характер и представляет несомненную угрозу жизнедеятельности человека, поэтому возможность быстрого выявления образования новых воронок крайне важна.

Как правило, воронки обнаруживаются случайно, а для определения времени их образования используется метод изучения аэрофото- и космоснимков (КС) дистанционного зондирования Земли. Обнаружить воронки простым перебором космических снимков, не зная заранее координаты, высокочувствительно и неэффективно.

В 2017 г. ФИЦ ЕГС РАН, совместно с администрацией ЯНАО, была развернута высокочувствительная сеть сейсмического мониторинга Северного Ямала [2], которая впервые в мировой практике зарегистрировала четыре (один в 2017 г. и три в 2018 г.) сейсмических сигнала, вызванных взрывным выбросом газа. Таким образом, появилась возможность сопоставить координаты эпицентров событий и КС с целью обнаружения новых воронок газового выброса.

Вначале было изучено событие, произошедшее 19 марта 2018 года. При изучении снимков космического аппарата Sentinel 2 в оптическом диапазоне удалось обнаружить новую воронку. Разность в результате предварительной локации и реального эпицентра составила около 4 км [3].

В данной работе было рассмотрено еще одно событие, которое произошло 18 апреля 2018 года. Как и в предыдущий раз, для поиска воронки были использованы КС с сайта www.sentinel-hub.com с изображением до и после сейсмического события.

На снимке с датой 8 августа 2017 г. был обнаружен бугор, который, как правило, предшествует образованию воронки. А на снимке, датированном 23 июня 2018 г., в этой же точке четко выделяется вновь образованная воронка. Разность в результате предварительной локации и реального эпицентра составила около 2 км.

Благодаря данным исследованиям, можно утверждать, что при наличии достаточно плотной сети сейсмического мониторинга в Арктической зоне, используя сейсмические данные, возможно выявить такие опасные явления, как воронки газового выброса.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Богоявленский В.И.** Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра // Бурение и нефть. – 2014. – № 9. – С. 13–18. – EDN: QRMPHL
2. **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. – EDN: ZQRMSL
3. **Милехина А.М.** Оценка возможности регистрации образования воронок газового выброса сейсмологическим методом // Двадцать четвертая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник научных материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2023. – С. 134–138.

ВЫДЕЛЕНИЕ РОЕВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ХРЕБТЕ ГАККЕЛЯ МЕТОДОМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Я.А. Михайлова
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

Существует множество способов и приемов идентификации групповых (кластерных) землетрясений и разделения их на различные группы, относящиеся к афтершокам, форшокам, роям, и даже связанные с трассированием линейной трещиноватой структуры земной коры [1–3]. Широкое распространение в различных исследованиях прикладного характера получили методы кластерного анализа.

В настоящем исследовании авторы применили к итоговому каталогу [4] алгоритм одиночных связей по [2], при котором из N землетрясений отдельные землетрясения сначала связываются со своими ближайшими соседями (в пространстве и времени), чтобы сформировать подгруппы событий. Затем процесс повторяется, и каждая подгруппа рекурсивно связывается со своим ближайшим соседом, пока не будут найдены все звенья (группы), соединяющие все землетрясения. Расстояние между событиями в таком пространстве–времени определяется как $d_{st} = \sqrt{d^2 + C^2 t^2}$, где d – расстояние в километрах между эпицентрами событий, t – разница во времени происхождения этих событий в днях. S. Davis и C. Frohlich [5] предполагают $C=1$ км/день.

Для каждого события находится ближайший сосед с минимальным расстоянием. События считаются принадлежащими одному кластеру, если расстояние между ними меньше, чем $D = 9.4\sqrt{S1} - 25.2$, где $S1$ – медиана из всех значений минимумов d_{st} .

Для нашего каталога землетрясений значение $D=29.73$ км. Используя этот критерий, события объединяются в кластеры, где каждое событие имеет хотя бы одного соседа с расстоянием меньше D .

В случае, если группа событий имеет ярко выраженный сильный толчок с последующим убыванием числа событий в соответствии с законом Омори [3], то мы имеем дело с афтершоковой последовательностью. Если же частота и магнитуда событий слабо меняются со временем, то такое скопление будет являться роем землетрясений. В данном исследовании анализировались рои землетрясений, состоящие из восьми и более землетрясений.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 22-27-00190).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мурзоев К.М.** Рекомендации по выделению групповых землетрясений // Вопросы инженерной сейсмологии. Инженерно-сейсмологические исследования для районирования сейсмической опасности. Вып. 33. – М.: Наука, 1992. – С. 53–57.
2. **Frohlich C., Davis S.D.** Single-link cluster analysis as a method to evaluate spatial and temporal properties of earthquake catalogues // Geophysical Journal International. – 1990. – V. 100, Is. 1. – P. 19–32. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.1990.tb04564.x
3. **Omori F.** On aftershocks of earthquakes // Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo. – 1894. – V. 7. – P. 111–200.
4. **Morozov A., Vaganova N.** Earthquake catalog of the Gakkel mid-ocean ridge (Arctic Ocean) according to the data of the Arkhangelsk seismic network (AH code) for the period from 2013 to 2022 // ISC Seismological Dataset Repository. – 2023. – DOI: 10.31905/SMUPNWEP
5. **Davis S.D., Frohlich C.** Single-link cluster analysis, synthetic earthquake catalogues, and aftershock identification // Geophysical Journal International. – 1991. – V. 104, Is. 2. – P. 289–306. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.1991.tb02512.x

О ВЛИЯНИИ ПРЕДПОЛАГАЕМОГО ГЛУБИННОГО РАЗЛОМА НА СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ИНДОНЕЗИИ

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

По данным глобального каталога NEIC [1], из восьми землетрясений с магнитудой $M_s \geq 7$, зарегистрированных в мире за пять первых месяцев 2023 г., два принадлежат мощному мультитерриториальному землетрясению в Турции 06.02.2023 г. ($M_w=7.8$ и 7.7), унесшему жизни десятков тысяч человек, а остальные шесть произошли в Индонезийском регионе. В работе средствами геоинформационной системы GIS-ENDDB [2] исследуется геодинамическая ситуация в области подготовки серии индонезийских событий, начавшейся с двух землетрясений 8 и 9 января 2023 г. ($M_s=7.0$ и 7.6 , $H=29$ и 105 км) и охватывающей глубины H от 29 до 594 км. Установлено, что все шесть землетрясений пространственно приурочены к более протяженному на восток, по сравнению с [3], субширотному «Индонезийскому» сейсмолинеamentу длиной 9500 км, выявляемому методом большого круга Земли. Метод расчета нормированного крипекса C_{TN_ISC} позволяет обосновать предположение о наличии в области линеамента глобального глубинного разлома на основе комплексного исследования динамики свойств геофизической среды в его пределах [3]. В частности, в настоящей работе для оценки синхронного поведения во времени параметров C_{TN_ISC} и магнитуды M_s используется выборка каталога ISC [4] (с 1918 г. по сей день), составившая 2839 землетрясений с $H \geq 50$ км в 700-км зоне от оси линеамента. Применяются два метода расчета коэффициента парной корреляции в скользящем временном окне: 1 – с фиксированным размером окна; 2 – с одним краем, фиксированным на нулевом значении времени (соответствующем моменту сильнейшего индонезийского события 09.01.2023 г., $M_s=7.6$, $H=105$ км). Оба метода подтверждают факт равномерной консолидации глубинного разлома в целом (по всей его длине и глубине) за 33 дня до и 29 дней после сильнейшего индонезийского толчка. Это выражается в установлении в этот период обратной корреляции ($|K_{COR}| \geq 0.7$) магнитуды и крипекса. Такая закономерность ранее описана в [5] для консолидированной части земной коры, где более сильные землетрясения имеют меньший крипекс (характеризующий больший вклад хрупких разрушений). Таким образом, подтверждается факт формирования организованного состояния среды (линейной жесткой структуры) в пределах предполагаемого глубинного разлома, влияющего на последующую сейсмичность региона в виде пространственно приуроченной к нему полугодовой серии сильнейших землетрясений с $M_s \geq 7$.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *Earthquake Hazards* // USGS [Site]. – URL: earthquake.usgs.gov/earthquakes
2. *Kalinnikov I.I., Mikheeva A.V.* The GIS-ENDDB algorithms and methods for geoinformation-expert data analysis // *Machine Learning and Data Analysis*. – 2017. – V. 3, Is. 1. – P. 36–49. – DOI: 10.21469/22233792.3.1.03. – EDN: YPSZHR
3. *Михеева А.В., Калинин И.И.* Анализ динамики развития разломов и сильных землетрясений // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. – 2023. – Т. 2. (В печати).
4. *ISC Bulletin. Event catalogue search* // International Seismological Centre [Site]. – United Kingdom, Thatcham, 2023. – DOI: 10.31905/D808B830
5. *Михеева А.В.* Примеры геоинформационного исследования сейсмичности Южно-Азиатского региона // *Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов [Электронный ресурс]: Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Отв. ред. Д.В. Чебров*. – Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 187–191. – DOI: 10.35540/903258-451.2021.8.34. – EDN: HMVECD

ОБ АКТИВИЗАЦИИ СЕЙСМИЧНОСТИ АРМЕНИИ, СВЯЗАННОЙ С ВОЗНИКНОВЕНИЕМ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАВКАЗЕ

М.А. Мкртчян, Б.В. Саакян, Д.К. Карапетян, к.г.н.,
Э.Г. Геодакян, к.ф.-м.н., С.М. Оганесян, чл.-корр. НАН РА
ИГИС НАН РА, г. Гюмри

Для сейсмоактивной и сейсмоопасной территории Армении детальное изучение различных форм проявления пространственно-временных вариаций сейсмичности, связанных с процессами подготовки и реализации сильных землетрясений, является одним из актуальных направлений сейсмологических исследований. С целью изучения сейсмической активности, с 2008 г. в реальном масштабе времени осуществляется мониторинг текущих значений параметров сейсмического режима (γ , A_{10} , Σn , ΣE) и их отклонений от долговременных средних значений. Из временных рядов γ и A_{10} выделены соответственно шесть и пять периодов аномальных значений, превосходящих их флуктуационные интервалы. Для выявления приуроченности этих аномалий к периодам подготовки возникших в регионе сильных землетрясений был проведен ретроспективный сопоставительный анализ. Результаты анализа указывают на совпадение четырех аномалий по параметру γ и трех аномалий по параметру A_{10} с периодами подготовки землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$.

На основе этих методических подходов, несмотря на сравнительно короткий срок наблюдений (2008–2022 гг.), в Кавказском регионе выявлены три ярко выраженных временных периода различных по форме аномальных проявлений вариаций сейсмичности. В центральной части Армении за период 2008–2012 гг. выделены аномальные проявления параметров γ и A_{10} , линейно расположенные вдоль Арарат-Севанского глубинного разлома, на окончаниях которого впоследствии произошли два сильнейших землетрясения: Ванское (23.10.2011 г., $M=7.2$) и Закатальское (07.05.2012 г., $M=5.7$).

В дальнейшем за период с октября 2014 г. по март 2015 г. впервые на территории Кавказа выявлено уникальное по своему характеру аномальное проявление сейсмической активности, выраженное в виде возникновения девяти землетрясений в магнитудном диапазоне $M=3.7 \div 4.2$, эпицентры которых последовательно кругообразно расположены в очаговых зонах ранее произошедших известных сильных землетрясений Кавказа. Такое аномальное проявление, по всей вероятности, связано с процессами перераспределения региональных напряженно-деформационных полей земной коры, обусловленных возникновением вышеуказанных сильных землетрясений.

С 2020 по 2022 г. на территории Кавказского региона наблюдается резкая активизация сейсмичности в виде чередования землетрясений с магнитудами $M=4.0 \div 5.4$ и различных форм аномальных проявлений слабой сейсмичности. Эти аномальные проявления, возможно, связаны с процессами подготовки и возникновения разрушительных турецких землетрясений, произошедших 06.02.2023 г. с $M=7.8$, 7.5 и 20.02.2023 г. с $M=6.3$ на региональном трансформном Восточно-Анатолийском разломе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодакян Э.Г., Оганесян С.М. Об активизации слабой сейсмичности центральной части Армении // Известия НАН РА. Науки о Земле. – 2011. – Т. 64, № 3. – С. 27–39.

ИНЖЕНЕРНАЯ ОН-ЛАЙН СЕТЬ ОПОВЕЩЕНИЯ СЕЙСМОКАТАСТРОФ КЫРГЫЗСТАНА

**Б.Д. Молдобеков, к.г.-м.н., Ш.Э. Усупаев, д.г.-м.н.,
А.К. Шаршебаев, Т. Алтынбек у., П.А. Иманалиева
ЦАИИЗ, г. Бишкек, Кыргызстан**

Инженерная он-лайн система раннего оповещения густонаселенных городов Кыргызстана представлена сейсмической сетью станций сильных движений ACROSS (Advanced Remote Sensing – Ground Truth Demo and Test Facilities).

Региональная конфигурация сети, оснащение, методика обработки землетрясений, технологии основ искусственного интеллекта позволяют передавать записи сильного движения грунта для снижения сейсмических рисков в виде карты с эпицентром и изосейстами землетрясений, произошедших в Кыргызстане и трансграничных территориях стран Центральной Азии [1].

Акселерографы регистрируют ощутимые землетрясения с магнитудой выше 4.0, что позволяет тестировать результаты сильных движений грунта при землетрясениях. Фиксация землетрясений в режиме реального времени позволяет включить систему раннего предупреждения для быстрого снижения сейсмического риска в городах Бишкек и Ош.

Основа инженерной региональной новой сети станций сильных движений состоит из 18 наземных сейсмостанций, которыми покрыта северная и юго-западная часть Кыргызского Тянь-Шаня [2], где в тестовом режиме было зарегистрировано более 700 землетрясений с магнитудой 4.0 и выше.

Заблаговременное предупреждение от первых секунд до десятков секунд позволяет принять меры для защиты жизни и имущества от сейсмокатастроф.

Создана и в тестовом режиме функционирует основа инженерной технологии прообраза искусственного интеллекта он-лайн оповещения населения от разрушительных сейсмокатастроф.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Д., Шакиров А.Э.* Основы системы он-лайн предупреждения населения г. Бишкек и его агломераций от землетрясений // Материалы 1-го Международного симпозиума: Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных напряжений в горных породах. – Бишкек: НАН КР, 2016. – С. 223–224.
2. *Усупаев Ш.Э., Орунбаев С.Ж., Молдобеков Б.Д., Шаршебаев А.К., Алтынбек уулу Талант.* Тестирование созданной системы сетей мониторинга и раннего предупреждения землетрясений для густонаселенных городов и территории Кыргызстана // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 18-е дополненное). – Бишкек: МЧС КР, 2021. – С. 33–37.

РОИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ХРЕБТЕ ГАККЕЛЯ В АРКТИКЕ

^{1,2}А.Н. Морозов, к.т.н., ²Н.В. Ваганова, к.г.-м.н.,
²Я.А. Михайлова, ²Е.Р. Морозова, ^{2,3}И.В. Старков
¹ИФЗ РАН, г. Москва
²ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск
³УрФУ, г. Екатеринбург

Активные процессы спрединга ультрамедленных хребтов со скоростями спрединга менее 20 мм/год, к которым относятся хребет Гаккеля, до сих пор слабо изучены по сравнению со срединно-океаническими хребтами (СОХ) в Атлантическом и Тихом океанах со скоростями спрединга более 25 мм/год. В некоторых современных моделях вложен принцип дискретно-непрерывного спрединга, предполагающего формирование корового слоя в результате повторяющихся дайковых интрузий и излияний на оси хребта. Следствием тектонических процессов и четким индикатором магматического вторжения в пределах хребта Гаккеля может являться роевая сейсмичность, изученная, например, по телесеismicким данным в [1]. В настоящем исследовании представлены результаты изучения низкомagnitude роевой сейсмичности хребта Гаккеля на основе данных региональных сейсмических станций в пределах magnitude диапазона, недоступного в исследованиях по телесеismicким данным. Анализировался каталог Архангельской сейсмической сети [2] за период с 2012 по 2022 г., дополненный данными из ISC, из которого по алгоритму одиночных связей по [3] на хребте Гаккеля были выявлены восемь роев землетрясений: один – в пределах западного вулканического сегмента хребта; остальные – в восточном вулканическом сегменте. В пределах центрального амагматического сегмента роевой сейсмичности не зарегистрировано. Выявленные рои включают от 8 до 52 землетрясений с magnitude M_L от 2.3 до 5.1. Районы расположения отдельных роев совпадают с локализацией вулканических центров хребта, а также с районами регистрации роевой сейсмичности по телесеismicким данным в более ранних исследованиях [1], что может говорить о высокой интенсивности вулканотектонических процессов, протекающих в данных участках хребта. Рои концентрируются как в областях положительной магнитной аномалии разной степени интенсивности, обусловленной процессами магматической интрузии, так и в областях слабой отрицательной магнитной аномалии. Более того, часть роев располагается в районах крупных поперечных разломов. Это свидетельствует о сложных причинно-следственных связях между сейсмичностью, магматизмом и крупными разломами. Возможно, крупные разломы играют роль проводящих путей при распространении магмы вдоль оси, порождая движение флюидов в магматических очагах и вулканическую сейсмичность.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 22-27-00190).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Schlindwein V.* Teleseismic earthquake swarms at ultraslow spreading ridges: indicator for dyke intrusions? // *Geophysical Journal International*. – 2012. – V. 190, N 1. – P. 442–456.
2. *Morozov A., Vaganova N.* Earthquake catalog of the Gakkel mid-ocean ridge (Arctic Ocean) according to the data of the Arkhangelsk seismic network (AH code) for the period from 2013 to 2022 // *ISC Seismological Dataset Repository*. – 2023. – DOI: 10.31905/SMUPNWEP
3. *Frolich C., Davis S.D.* Single-link cluster analysis as a method to evaluate spatial and temporal properties of earthquake catalogues // *Geophysical Journal International*. – 1990. – V. 100, Is. 1. – P. 19–32. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.1990.tb04564.x

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД КОЗ: РАСЧЕТ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

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

В настоящее время проводится научно-техническая работа по модернизации метода среднесрочного прогноза землетрясений «Карта ожидаемых землетрясений» (КОЗ), созданного в середине 1980-х гг. [1]. На данном этапе в модернизированном методе КОЗ реализован блок расчета ретроспективных статистических характеристик динамических и квазистационарных прогностических предвестников для исследуемого региона. Ниже представлены результаты расчета и анализа ретроспективных статистических характеристик предвестников для региона Камчатки.

Для расчета использовался каталог землетрясений Камчатки за период с 1962 по 2020 год. Объектом прогноза были землетрясения с $K_{пр} \geq 13.5$. Одним из наиболее эффективных предвестников для региона Камчатки как по времени, так и по площади является угол наклона графика повторяемости γ со значением эффективности $J_t=10.7$ и $J_s=11.3$. Следующим по эффективности (по времени) предвестником является число землетрясений N_{zt} в виде затишья с $J_t=5.8$. По площади наиболее эффективным предвестником является выделившаяся сейсмическая энергия $E^{2/3}$ также в виде затишья с $J_s=14.7$. Были вычислены значения безусловной вероятности возникновения сильного землетрясения по комплексу динамических признаков, оказавшейся равной 0.09, и вероятности возникновения землетрясения при наличии квазистационарного признака (наличие разломов) в ячейке, которая составила 0.95. Построена карта стационарной условной вероятности возникновения сильного землетрясения для Камчатки.

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

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

ЛИТЕРАТУРА

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

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ИНИЦИИРОВАННЫХ ВЗРЫВАМИ, НА ПРИМЕРЕ ХИБИНСКОЙ ПТС

¹А.Ю. Моторин, ¹С.В. Баранов, д.ф.-м.н., ²П.Н. Шебалин, чл.-корр. РАН
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты
²ИТПЗ РАН, г. Москва

В результате многолетнего сейсмического мониторинга, проводимого с середины 1990-х гг. Кировским филиалом АО «Апатит» на апатитовых месторождениях Хибинского массива [1], создан сейсмологический каталог, представительная магнитуда которого $M_c=0$. Использование этого каталога позволяет заполнить пробел между лабораторными исследованиями и тектонической сейсмичностью.

Предыдущие исследования особенностей постсейсмической активности на месторождениях Хибинского массива показали, что число повторных толчков (продуктивность) подчиняется экспоненциальному распределению и не зависит от механизма возмущения среды (закон продуктивности землетрясений [2]), а расстояния от землетрясений-триггеров до их афтершоков в среднем подчиняются степенному распределению [3].

Применение аналогичных подходов к исследованию пространственного распределения повторных толчков, инициированных взрывами-триггерами с магнитудой $M_m \geq 2$ показало, что расстояние от взрывов-триггеров до инициированных ими толчков, начиная с некоторого расстояния r_0 , подчиняется экспоненциальному распределению:

$$F_r(x) = P(r < x) = 1 - e^{-s(x-r_0)}, \quad x \geq r_0.$$

Таким образом, затухание поствзрывной сейсмичности происходит быстрее, чем затухание постсейсмической активности по мере удаления от события-триггера. Это вызвано тем, что взрывы не имеют диаграммы направленности и происходят независимо от уровня напряжений. Поэтому число толчков, инициированных взрывами, меньше [2], а их убывание с расстоянием от взрыва-триггера происходит быстрее, чем в случае, когда триггером является сейсмическое событие.

Практическая значимость исследования определяется тем, что после взрыва часто возникают повторные сейсмические события, представляющие самостоятельную опасность, поскольку элементы горных выработок, получившие скрытые повреждения в результате основного толчка, могут быть разрушены серией менее сильных афтершоков. Поэтому вопросы типа – где, какой силы и как долго ожидаются повторные толчки (афтершоки) неизбежно возникают перед руководством горнодобывающего предприятия при планировании мер по снижению удароопасности рудников.

Работа включает результаты, полученные при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Корчак П.А., Жукова С.А., Меньшиков П.Ю.** Становление и развитие системы мониторинга сейсмических процессов в зоне производственной деятельности АО «Апатит» // Горный журнал. – 2014. – № 10. – С. 42–46. – EDN: TMJOWD
2. **Баранов С.В., Жукова С.А., Корчак П.А., Шебалин П.Н.** Продуктивность техногенной сейсмичности // Физика Земли. – 2020. – № 3. – С. 40–51. – DOI: 10.31857/S0002333720030011. – EDN: NKPGYE
3. **Баранов С.В., Моторин А.Ю., Шебалин П.Н.** Пространственное распределение повторных толчков в условиях техногенной сейсмичности // Физика Земли. – 2021. – № 4. – С. 91–100. – DOI: 10.31857/S0002333721040025. – EDN: MKAUI

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ОЧАГЕ МАССОВОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ВЗРЫВА

^{1,2}В.В. Мохова

¹ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

В настоящее время в пределах Воронежского кристаллического массива функционируют более 20 карьеров, в которых производятся короткозамедленные взрывы [1, 2].

Выявление степени отражения структурно-геодинамических условий литосферы региона в волновых полях, создаваемых короткозамедленными взрывами, требует, чтобы источник был регулярным во времени, достаточно мощным, и взрывы производились по одной и той же технологии. Таким требованиям удовлетворяет Павловский карьер, в котором регулярно производятся достаточно мощные взрывы (более 100 т взрывчатых веществ (ВВ)) в гранитном массиве и по стандартной для этого карьера методике.

Используя взрыв в Павловском карьере в качестве примера, произведено математическое моделирование его сейсмического эффекта. При построении модели массового взрыва сейсмический эффект единичного взрыва аппроксимировался затухающей по амплитуде гармонической функцией [3] в виде $V(t) = \exp(-at) \cdot \cos(\omega t + \varphi)$, где a – коэффициент затухания сигнала, ω – круговая частота сигнала, φ – начальная фаза.

Таким образом, в предположении выполнения принципа суперпозиции суммарный сейсмический эффект $V_{\Sigma}(t)$ массового взрыва будет равен сумме эффектов $V_i(t)$ «элементарных» взрывов: $V_{\Sigma}(t) = \sum V_i(t)$, $i = \overline{1, n}$.

Были выявлены следующие особенности построенной многопараметрической модели: общая амплитуда сигнала практически не зависит от мощности суммарного заряда ВВ; продолжительность сигнала во времени имеет прямо пропорциональную связь с количеством взрывных скважин и с мощностью суммарного заряда ВВ.

Математическую модель массового короткозамедленного взрыва можно рассматривать только в качестве нулевого приближения реальной ситуации, возникающей при массовом взрыве. Однако модель позволяет выявить две особенности массовых взрывов: весьма слабая зависимость максимальной амплитуды от мощности взрыва и увеличение продолжительности сигнала во времени при увеличении мощности взрыва. Эти две особенности характерны и для реальной ситуации.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Надёжка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П. и др.* Сейсмический эффект массовых химических взрывов в карьере г. Павловска // Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях. Межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж: ВГТУ, 2003. – С. 99–105.
2. *Ефременко М.А., Надёжка Л.И.* Отклик геологической среды на импульсное воздействие в условиях Воронежского кристаллического массива // Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Четвертые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы. – Екатеринбург: ИГ УрО РАН, 2007. – С. 44–46.
3. *Справочник геофизика* / Под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. – М.: Недра, 1966. – Т. IV. – С. 11–19.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗА 2020–2022 ГГ. В ЗОНЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СИЛЬНЫХ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Ж.З. Мураталиева, Ж.К. Калысова
ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

Как известно, характерной чертой Северного Тянь-Шаня является концентрация очагов сильнейших землетрясений Центральной Азии. Серия сейсмических катастроф началась с Беловодского землетрясения 1885 г. с $M=6.9-7.2$ в Чуйской впадине, затем Верненского землетрясения 1887 г. с $M_s=7.3\pm 0.5$, охватившего окрестности г. Алма-Аты (Верного), за которым вскоре последовало Чиликское землетрясение 1889 г. с $M_s=8.3\pm 0.5$. Затем в 1911 г. произошло сильнейшее Кеминское (Кебинское) землетрясение с $M_s=8.2\pm 0.3$. По-видимому, завершающим в этой серии было Кемино-Чуйское землетрясение 1938 г. с $M_s=6.9\pm 0.5$. Четыре последних события отражают разрядку напряжений в направлении с востока на запад вдоль Кемино-Чиликской зоны разломов. Первое событие произошло в пределах южного обрамления Чуйской впадины. В целом все указанные землетрясения произошли в пределах Северо-Тянь-Шаньского сейсмического пояса, который оконтуривает зону контакта между Тянь-Шаньским орогеном и стабильной Казахской платформой [1].

Сейсмотектоническая позиция сильнейших землетрясений Северного Тянь-Шаня связана в первую очередь с реактивизацией древней Кемино-Чиликской зоны, которая на современном этапе выражена в виде одноименной зоны активных разломов [2].

Исходными данными является бюллетень землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2020–2022 гг., составленный Центром данных Институтом сейсмологии НАН КР по записям цифровых сейсмических станций сетей KNET и KRNET.

Изучено распределение эпицентров землетрясений Северного Тянь-Шаня по площади и глубинам. На карты нанесены эпицентры сильнейших исторических землетрясений, показаны активные сегменты и отрезки новейших разломов [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдрахматов К.Е., Джумабаева А.Б., Байкулов С.* Временные кластеры в сейсмическом режиме северного Тянь-Шаня (на примере сильных землетрясений) // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2019. – № 1 (13). – С. 19–25.
2. *Абдрахматов К.Е., Калысова Ж.К., Мураталиева Ж.З.* Новейшая структура Северного Тянь-Шаня и землетрясения // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2023. – № 1 (21). – С. 9–15.
3. *Абдрахматов К.Е., Аширов Б.М., Мураталиева Ж., Джумабаева А.* Сейсмотектоническая позиция сильнейших землетрясений Северного Тянь-Шаня // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2022. – № 1 (19). – С. 8–12.
4. *Аширов Б.М., Калысова Ж.* Новейшие структуры Северного Тянь-Шаня и фоновая сейсмичность // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2021. – № 2 (18). – С. 23–28.

СЕЙСМИЧНОСТЬ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ РАЙОНА САРЕЗСКОГО ОЗЕРА

Ш.Я. Муродкулов, к.г.-м.н.
ИГССС НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан

Сарезское озеро расположено в центральной части Памира, которая отличается высокой геодинамической активностью и, соответственно, сейсмичностью. Наиболее активная часть – Северный Памир, район Главного Памирского надвига [1]. На территории Памира происходят два типа землетрясений: коровые и глубокие Памиро-Гиндукушские землетрясения (до глубины 300 км). Район Сарезского озера интересен тем, что он располагается над зоной глубоких Памиро-Гиндукушских землетрясений, и там произошли два сильных землетрясения: в 1911 г. с магнитудой $MLH=7.4$ [2] и в 2015 г. с $M_s=7.2$.

В результате первого произошел грандиозный оползень, который и вызвал образование Сарезского озера с Усойской плотиной высотой более 600 м. В результате второго землетрясения в 2015 г., произошедшего практически в том же месте, таких грандиозных обрушений склонов не отмечено. И даже существующая Усойская плотина не получила каких-либо серьезных повреждений [3].

Учитывая необходимость долгосрочных решений, исключающих теоретическую возможность катастрофического разрушения Усойской плотины по тем или иным причинам, необходимо оценить уровень возможных сейсмических воздействий в этом районе в соответствии с международными стандартами.

Нами выполнена оценка сейсмической опасности района Сарезского озера с использованием вероятностной оценки сейсмической опасности, использующей два типа сейсмических источников и современные уравнения затуханий сейсмических колебаний.

Определялись два типа сейсмических источников:

1 – линейные, за которые принимались активные разломы, способные генерировать землетрясения с $M_s \geq 6$;

2 – площадные зоны так называемой рассеянной сейсмичности (по расположению эпицентров землетрясений).

В результате расчетов с использованием специального программного обеспечения CRISIS2015 был получен набор карт сейсмических воздействий в виде спектральных уско-рений с периодами 0.01 (PGA), 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0, 1.5 и 2.0 с для периодов повторяемости 475, 2475 и 4975 лет.

Дополнительно были построены унифицированные спектры опасности и кривые опасности для участка расположения Усойской плотины для трех различных периодов повторяемости.

Предложенные в данной статье результаты вероятностной оценки сейсмической опасности района Сарезского озера, конечно, недостаточны, т.к. рассмотрена довольно большая территория. Но они могут быть использованы для технико-экономического обоснования любых строительных работ в целях разработки сооружений, обеспечивающих безопасность Сарезского озера.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Abdrakhmatov K.** ISTC Project No. KR 1176, Establishment of the Central Asia Seismic Risk Initiative (CASRI) / Final Project Technical Report on the work performed from: 02.01.2006 to 04.30.2009. – Bishkek, Kyrgyz Republic: Institute of Seismology, National Academia of Sciences, 2009.
2. **Ambraseys N., Bilham R.** The Sarez-Pamir earthquake and landslide of 18 February 1911 // Seismological Research Letters. – 2012. – V. 83 (2). – P. 294–314. – DOI: 10.1785/GSSRL.83.2.294
3. **Mohadjer S., Bendick R., Ischuk A., Kuzikov S., et al.** Partitioning of India-Eurasia convergence in the Pamir-Hindu Kush from GPS measurements // Geophysical Research Letters. – 2010. – V. 37 (4). – L04305. – DOI: 10.1029/2009GL041737

О ЗАТУХАНИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СОБЫТИЙ

Л.И. Надёжка, к.г.-м.н., И.Н. Сафронич
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Исследование динамики взрывных работ, проводимых на территории Центрально-Черноземного экономического района, показывает, что ежегодно производится 350–500 промышленных взрывов. В четырех крупных карьерах суммарное количество взрывчатого вещества (ВВ), используемое для одного промышленного взрыва, составляет от 100 до 2500 т. Возникающие при производстве промышленных взрывов сейсмические события имеют энергетический класс в диапазоне $6 \leq K_p \leq 10$.

Сейсмическая энергия взрывов распространяется в неоднородной геологической среде и накапливается в неоднородностях геологической среды, способствуя тем самым развитию сейсмодинамических процессов [1]. Степень насыщения геологической среды сейсмической энергией взрывов зависит от многих факторов: регулярности производства промышленных взрывов и их интенсивности, геологического строения трассы, по которой распространяются сейсмические волны, а также локальными особенностями геологического строения в каждом конкретном месте территории региона. В первом приближении ее можно оценить по двум параметрам: длительности сейсмического воздействия и его средней интенсивности на этом промежутке.

Известно, что с увеличением расстояния до источника сейсмическое событие как бы растягивается, а интенсивность амплитуд уменьшается. Выполнена оценка степени уменьшения значения средней амплитуды скорости (модуль полного вектора) сейсмического события в интервале длительности его максимального воздействия. Несмотря на то, что затухание волнового поля отличается в разных направлениях, сейсмические воздействия от взрывов прослеживаются на значительные расстояния.

В зависимости от суммарной мощности взрыва в карьере «Павловский» максимальное расстояние, на котором сейсмическое воздействие фиксируется, составляет (220 ± 30) км. На этом расстоянии максимальная длительность события составляет (160 ± 10) с, среднее значение квадрата амплитуды – 0.04 ± 0.008 (мкм/с)². На этом расстоянии от карьера максимальное воздействие продолжается в течение (60 ± 10) с, но его интенсивность невелика и превышает фон всего в 7 раз.

Наиболее сильное воздействие на геологическую среду оказывают промышленные взрывы, производимые в карьере «Железнодорожный» («Михайловский»). Их воздействие простирается до (450 ± 40) км. Максимальная длительность воздействия – (210 ± 30) с, среднее значение квадрата амплитуды составляет 1.4 ± 10 (мкм/с)². Интервал максимального воздействия составляет (60 ± 10) с, в пределах которого среднее значение квадрата амплитуды сейсмического события выше фона в 10 раз.

Анализ амплитуд записей взрывов в разных частотных диапазонах и их спектров показал, что наиболее выраженными являются составляющие в диапазоне частот 0.6–0.7, 4.5, 6.0, 7.5 и 10 Гц. Для этих частот получены коэффициенты поглощения на разных расстояниях. В результате установлено, что на сейсмический эффект, создаваемый промышленными взрывами, оказывает существенное влияние не только физические свойства грунтовой толщи, но и более глубоких горизонтов земли.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

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

СЕЙСМИЧНОСТЬ ПРИХАНКАЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ В ПЕРИОД ЕЕ ПОДТОПЛЕНИЯ

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

На юге Приморского края находится Приханкайская низменность. Она расположена к югу от озера Ханка и ограничивается Восточно-Маньчжурскими горами. Площадь Приханкайской низменности составляет 18000 км², это 20% территории Приморского края. Геологическое строение низменности характеризуется в большинстве случаев угленосными отложениями палеогеновой системы кайнозойской группы. В районе озера Ханка представлены конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты и бурые угли палеогеновой и неогеновой систем. Широко представлены интрузивные породы: граниты, гранодиориты, диориты. Встречаются значительные континентальные отложения (каменные угли, песчаники и другие). Равнину пересекают многочисленные разломы [1].

Для озера Ханка характерны многолетние колебания уровня воды. Периоды высокой и низкой водности неодинаковы по продолжительности и чередуются через каждые 10–17 лет. Подъем воды обычно длится несколько лет, при этом уровень повышается на 1.4–1.5 м. Такие быстрые трансгрессии наблюдались в 1910–1920, 1933–1948 и 1959–1976 гг., менее выраженные – с 1990 года. Значительные подъемы воды происходят с 2000 г. – до 2.2 м [2]. Главной особенностью подтопления Приханкайской низменности является то, что вода затопливает южную и восточную часть низменности. Рельеф Приханкайской низменности изрезан многочисленными разломами, которые образуют в горных породах своеобразные блоки. По количеству проявлений современных активизированных тектонических нарушений Ханкайская (Западная) зона включает в себя Ханкайскую низменность [3]. С 2000 г. по настоящее время в радиусе 100 км от центра озера Ханка зарегистрировано десять землетрясений. Все землетрясения произошли в юго-восточной части от озера и в самом озере в южной его части [4]. Для Приханкайской низменности такое количество землетрясений за рассматриваемый период можно считать повышенной сейсмоактивностью.

Можно предположить, что происходящие явления – землетрясения и подтопления в одном районе и в одно время – связаны между собой. И причиной повышения уровня воды в некоторых районах Приханкайской низменности является опускание блоков горных пород, границы которых определяют многочисленные разломы. А землетрясения есть следствия взаимодействия этих блоков между собой.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Геология СССР*. Том XXXII. Приморский край. Часть 1. Геологическое описание. – М.: Недра, 1969. – С. 696.
2. *Махинов А.Н.* Озеро Ханка: подъем уровня воды, его масштабы и последствия // *Природа*. – 2020. – № 11 (1263). – С. 37–45. – DOI: 10.7868/S0032874X20110046. – EDN: IDXQON
3. *Горелов П.В., Шкабарня Н. Г., Нагорнова Н.А.* Анализ сейсмической активности и разрывных нарушений Приморского края // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2016. – № 7-4 (49). – С. 146–149. – DOI: 10.18454/IRJ.2016.49.068. – EDN: WEYJTL
4. *Протокол обработки землетрясений*. – Владивосток: Фонды сейсмической станции «Владивосток», 2023.

РАЗВИТИЕ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

**М.Ю. Нестеренко, д.г.-м.н.
ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург**

Город Оренбург и западная часть Оренбургской области располагаются в пределах Русской платформы, которая в целом отличается сейсмической стабильностью, поскольку располагается на прочном и древнем фундаменте. Поэтому возникновение сильных сейсмических событий маловероятно. Тем не менее, в соответствии с картой ОСР-2015 в Оренбурге возможны землетрясения силой до 5 баллов и выше. Кроме природной тектонической сейсмичности возможна техногенная, обусловленная, в основном, добычей полезных ископаемых.

В восточной части Оренбургской области сосредоточено большое количество промышленных и горнодобывающих предприятий. По статистическим данным, с 2006 по 2022 г. на этой территории зафиксировано 12760 сейсмических событий, в среднем по 750 за год, с магнитудами от 0.9 до 4.6 единиц, вызвавших сотрясения на земной поверхности интенсивностью до 7 баллов по шкале MSK-64 [1].

Интенсивная эксплуатация месторождений нефти и газа в западной части Оренбургской области приводит к ряду негативных геодинамических процессов, вызывающих деформации земной поверхности и сейсмические явления. Так, на территории Западного Оренбуржья сетью сейсмических станций Отдела геоэкологии ОФИЦ УрО РАН регистрируется 15–20 сейсмических событий в год магнитудой до 2.5 и выше. Интенсификация добычи углеводородного сырья, развитие современных технологий разработки месторождений нефти и газа, в том числе трудноизвлекаемых, приводит к возрастанию техногенной нагрузки на верхнюю часть земной коры. Это вызывает необходимость мониторинга геодинамического состояния и сейсмической активности районов разрабатываемых месторождений и расширения сети сейсмических станций [2].

В результате проведенных работ выполнено обоснование структуры геодинамического полигона на основе четырех сейсмических станций в Александровском и Красногвардейском районах Оренбургской области для мониторинга геодинамической и сейсмической активности верхней части земной коры в районах эксплуатации месторождений нефти и газа. Построены и запущены в эксплуатацию с марта по май 2023 г. стационарные сейсмические станции «Олимпийское-OLMP» вблизи села Каликино Александровского района и «Моховое-MHV» в районе села Староюлдашино.

Целью настоящих исследований является выявление закономерностей влияния эксплуатации месторождений нефти в Александровском и Красногвардейском районах Оренбургской области на сейсмическую и геодинамическую активность верхней части земной коры, оценка уровня негативного влияния сейсмических процессов на природно-технические объекты и выбор рационального режима эксплуатации разрабатываемых месторождений углеводородов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nesterenko M., Tsviak A., Kapustina O., Nesterenko A., Nikiforov S.* Dangerous geodynamic processes of the Eastern Orenburg // E3S Web of Conferences. APEEM 2020. – 2020. – Vol. 169. – 01016. – DOI: 10.1051/e3sconf/202016901016
2. *Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В., Белов В.С.* Современная практика наблюдений за опасными геодинамическими процессами в районах добычи полезных ископаемых на примере Южного Урала: монография / Отдел геоэкологии Оренбургского ФИЦ УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2022. – 160 с.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ВЯТСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 13 АВГУСТА 1897 Г.

¹Н.Н. Носкова, к.г.-м.н., ²Ф.Г. Верхованцев, ³Р.А. Дягилев, к.ф.-м.н.
¹ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь
³ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

13 августа (по старому стилю) 1897 г. в центральной части Вятской губернии произошло одно из сильнейших исторических землетрясений в пределах севера Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Сведения о макросейсмических проявлениях данного события были получены на обширной территории на расстояниях более 50 км от г. Вятки, где предположительно располагался эпицентр землетрясения.

Несмотря на множество первичных макросейсмических описаний, это землетрясение в работах разных авторов имеет различные параметры и существенные расхождения по магнитуде, интенсивности и глубине. Ошибки и неточности переходят из одной работы в другую. В связи с этим авторы решили выполнить собственные исследования, разобраться в столь противоречивых сведениях об этом уникальном и значимом для ВЕП событии и дать окончательную оценку параметров данного землетрясения.

В работе представлены результаты построения макросейсмического поля Вятского землетрясения 1897 г. на основе современных методов расчетов интенсивности [1] с учетом пространственной неоднородности сведений об осязчивости [2]. Для построения поля были использованы первичные исторические источники макросейсмических проявлений. Использование результатов последних исследований [3], направленных на уточнение региональных коэффициентов макросейсмического уравнения для условий ВЕП, позволило получить достоверную магнитуду землетрясения $M=4.7\pm 0.1$ и оценить глубину очага $H=10\pm 5$ км.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 1021062211107-6-1.5.6 «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского литосферного сегмента» и государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-01271-23.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ Р 57546–2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
2. *Дягилев Р.А., Гусева Н.С., Верхованцев Ф.Г.* Анизотропия макросейсмического поля Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 года // *Геофизика*. – 2016. – № 5. – С. 42–46. – EDN: WXFKNB
3. *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. – EDN: DJXUEU

ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ «БРЕШЕЙ» ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С $K \geq 8$ В ПРЕДЕЛАХ ТЕРРИТОРИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КУМТОР» ВО ВРЕМЯ ЕГО РАЗРАБОТКИ В 1995–2022 ГГ.

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

Изучение проявления землетрясений в районах разработки месторождений полезных ископаемых, где производятся регулярные промышленные взрывы в течение десятков лет, является актуальной проблемой. Взрывы проводятся на карьере месторождения «Кумтор» с 1996 г. в основном короткозамедленным способом. Исходным материалом в работе служит каталог землетрясений Института сейсмологии НАН КР, составленный Центром данных по данным цифровых станций сетей KNET, KRNET, а также станций Казахстана и Китая, и станции «Тарагай» (TARG) Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) на основе методик обработки Мировых сейсмологических центров.

Карты распределения землетрясений ($K=8-14$) в пространстве и во времени составлены в границах $\varphi=40.502-43.047^\circ\text{N}$, $\lambda=76.951-79.430^\circ\text{E}$ с центром карьера $\varphi=41.85^\circ\text{N}$, $\lambda=78.20^\circ\text{E}$ месторождения «Кумтор» радиусом порядка 100 км. Активными структурами рассматриваемой территории являются с севера на юг: Кунгейское южновергентное поднятие, Иссыккульская впадина, Терскойское северовергентное поднятие Северного Тянь-Шаня; северовергентные Балгартское, Джетимбельское и Джетимское поднятия, Акшыйракское дивергентное (в северном и южном направлениях) и другие поднятия Среднего Тянь-Шаня; Кокшаальское, Кельпинтагское и другие южновергентные поднятия на сочленении Тянь-Шаня и Таримской плиты. Активные поднятия ограничены активными разломами, генерирующими землетрясения [1, 2].

В работе даны результаты изучения проявления землетрясений в районе разработки месторождения «Кумтор». Относительно частые проявления землетрясений с $K=8-12$ за период 1995–2022 гг. отмечаются в пределах Кунгейского, Терскойского, Кокшаальского и Кельпинтагского поднятий, относительно малые проявления – в Среднем Тянь-Шане (Акшыйракское поднятие и др.), редкие проявления – в пределах Иссыккульской впадины. В пределах карьера золоторудного месторождения «Кумтор» отмечены сейсмические бреши землетрясений ($K=8-12$). В последовательности проявления землетрясений в 1995–2022 гг. поэтапно выделяется иерархия сейсмических циклов разного порядка. Средний период повторения циклов третьего порядка составляет 1.2 года, циклов второго порядка – 3.5 года [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А.М.* Сейсмическая опасность населенных пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. – Бишкек: ОСОО «Триада Принт», 2019. – 98 с.
2. *Омурбек к. К., Мураталиева Ж.* Анализ механизмов очагов землетрясений Тянь-Шаня по меридиану «золоторудное месторождение Кумтор – район катастрофических Чиликского и Кеминского землетрясений» // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2022. – № 2 (20). – С. 75–90.
3. *Омуралиев М., Омуралиева А.М.* Средне- и краткосрочная сейсмическая опасность Тянь-Шаня, и иерархия динамики сейсмических процессов (на территории Кыргызстана и приграничных районов соседних стран). – Бишкек: ОСОО «Триада Принт», 2016. – 116 с.
4. *Мамбетова Г., Омуралиев М., Омуралиева А.* Мониторинг последовательности землетрясений Тянь-Шаня и районов соседних регионов за 2012–2022 гг. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2022. – № 2 (20). – С. 41–48.

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОЧАГОВЫХ ЗОН ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРМЕНИИ

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

В последние годы наблюдается повышение сейсмической активности очаговых зон на севере и в центральной части Армении [1]. Исследование сейсмотектоники отмеченных регионов Республики Армения включает изучение взаимосвязи между землетрясениями и отдельными глубинными разломами, оценку сейсмической активности и анализ деформационно-напряженного состояния земной коры рассматриваемых частей региона во времени. Изучались изменения сейсмического режима как всего региона, так и зон разломов Северной и Центральной Армении. Рассматривалась временная характеристика по выделенной сейсмической энергии, количеству произошедших землетрясений и графику повторяемости. Исследование зон активных разломов способствует решению проблемы современной геодинамики, анализу пространственно-временных изменений и сейсмической активизации разломов. В активных разломных зонах выявлена сильная и слабая сейсмическая, гидрогеодинамическая и гидрогеохимическая активность. Дифференциация разломов на сейсмогенерирующие и сейсмоактивные участки выражается в различных проявлениях современной геологической активности. Приуроченность очагов сильных землетрясений к активным разломам соответствует сейсмогенерирующим участкам разлома и подвижкам вдоль глубинного разлома, а слабые очаги землетрясений составляют сейсмоактивные участки разломов.

Для проводимых исследований учитывалась динамика изменения слабой сейсмичности Джавахетского нагорья, поскольку этот район быстро реагирует на изменения геодинамических условий в северной части активных разломов [2]. С 1976 по 1992 г. в регионе произошли землетрясения с магнитудами от 6.4 до 7.7, увеличение частоты сильных землетрясений указывает, что активизация крупнейших разломов региона продолжается. В работе рассмотрен сейсмический режим Турецкого землетрясения в системе Анатолийского разлома и возможное отражение в геофизических полях территории Армении. Северо-Анатолийский активный глубинный разлом на севере Турции вблизи города Эрзинджана почти под прямым углом пересекается с Восточно-Анатолийским разломом. Разломная зона пересечения двух разломов является местом, где происходят сильные землетрясения. 6 февраля 2023 г. с интервалом в девять часов на юго-востоке Турции произошли два мощных землетрясения ($M=7.8$ и 7.5). Одна из ветвей Северо-Анатолийского разлома на территории Армении идет от г. Ани до г. Гюмри и выходит на Спитакскую очаговую зону. Спитакское землетрясение 07.12.1988 г. ($M=7.1$) сопровождалось выходом на поверхность сейсмогенного разрыва [3]. Сейсмотектонический район Центральной Армении отмечен катастрофическими землетрясениями, последнее землетрясение произошло в 1931 г. ($M=6.4$). По Гарнийскому разлому прослеживается пространственно-временная миграция сильных землетрясений [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И. Активные разломы и сейсмичность // Природа. – 1989. – № 12. – С. 32–38.
2. Назаретян С.Н. Глубинные разломы территории Армянской ССР: (По геофизическим данным). – Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1984. – 133 с.
3. Караханян А.С. Некоторые особенности активной тектоники зоны Спитакского землетрясения 1988 г. // Известия АН Армении, Науки о Земле. – 1992. – № 1. – С. 3–11.
4. Karakhanjan A.S. Active faults of the Armenian Upland // Proceedings of Scientific Meeting on the Seismic Protection, 12–13 July, Venice. – Venice: Palazzo Balbi, 1993. – P. 88–93.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В СВЯЗИ С ТЕКТОНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ОКРЕСТНОСТИ ОБСЕРВАТОРИИ «ЯНГИБАЗАР»

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

В октябре 2022 г. силами Института сейсмологии АН РУз начато развертывание комплекса «Очаг-1» на Ташкентском геодинамическом полигоне. Комплекс предназначен для прогноза сильных землетрясений (магнитудой более 5) по характерным особенностям УНЧ электромагнитных эмиссий, осуществляющихся за 1–100 дней до сейсмического толчка. Комплекс состоит из двух групп станций, разнесенных на расстояние до 100 км. В пределах каждой группы устанавливается набор из трех станций с расстоянием между ними ~5–6 км. В настоящее время в окрестности обсерватории «Янгибазар», расположенной в 25 км к востоку от г. Ташкента, установлена и запущена первая группа станций комплекса «Очаг-1» и начата установка второй группы.

В работе проведен предварительный анализ поведения градиентов компонент электромагнитного поля и вариаций кажущегося электрического сопротивления в интервале периодов 0.25–500 с. Выполнено сопоставление результатов анализа с сейсмическими событиями магнитудой выше 3 в контролируемом регионе.

В градиентах электромагнитных возмущений наиболее сильные изменения зафиксированы для периодов до 50 с. С начала января 2023 г. отмечен существенный рост градиента вертикальной магнитной компоненты с максимумом в 20-х числах января с последующим резким падением в конце января, примерно за 10–14 дней до серии сильных землетрясений в Турции. В пределах анализируемого региона были также зафиксированы землетрясения, но не столь сильные, как в соседнем регионе. После 7–8 февраля 2023 г. установлен небольшой рост этих градиентов с последующим резким снижением в первой декаде марта 2023 г., примерно за две недели до толчков 21 и 23 марта 2023 г., зафиксированных в Ташкенте. Установленный эффект понижения амплитуды градиентов электромагнитных возмущений перед сильными сейсмическими событиями был также установлен ранее [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kopytenko Yu.A., Ismagilov V.S., Nikitina L.V.* Study of local anomalies of ULF magnetic disturbances before strong earthquakes and magnetic fields induced tsunamis // *Electromagnetic phenomena associated with earthquakes* / Ed. M. Hayakawa. – Kerala, India: Transworld Research Network, Fort P.O., Trivandrum, 2009. – P. 21–40.

О МАГНИТУДАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В УРАВНЕНИЯХ РАСЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ

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

Как известно, магнитуды, определенные по разным типам волн и приборов (MLH , M_s , mb , ML , M_w и др.), могут различаться для одного и того же землетрясения более чем на единицу, что может привести к еще большим ошибкам при подстановке «неправильной» магнитуды в известные соотношения, в частности, при расчете сейсмической энергии с применением уравнения Т.Г. Раутиан [1] $K_p = \lg E = 1.8 \cdot M + 4$ (1) или параметров макросейсмического поля по Н.В. Шебалину [2] $I = b \cdot M - v \cdot \lg(r) + c$ (2), где K_p – энергетический класс по шкале Т.Г. Раутиан [1]; b , v , c – региональные коэффициенты, приведенные в [2] и более новых работах.

В уравнениях (1) и (2) тип магнитуды авторами не указан, и разные исследователи трактуют их по-разному. Так, в (1) часто подставляют магнитуду по поверхностным волнам M_s , хотя в [1] магнитуда M приведена по уровню амплитуд на расстоянии 100 км к локальной магнитуде ML Рихтера [3]. В (2) предполагалась магнитуда по горизонтальной составляющей поверхностных волн MLH [2], но в современных исследованиях из-за прекращения в 1990-х гг. массового определения MLH используются ее аналоги – M_s по вертикальной составляющей поверхностных волн, моментная магнитуда M_w или магнитуда (назовем ее M_k), рассчитанная из K_p по уравнению (1).

В данной работе исследовались полученные для разных регионов Северной Евразии соотношения $ML(K_p)$ и $M_s(K_p)$ в сравнении с (1). Установлено, что соотношение $M(K_p)$ согласно (1) занимает промежуточное положение между группами региональных уравнений связи $ML(K_p)$ и $M_{SISC}(K_p)$, причем магнитуды ML выше, а M_s – ниже M . Значения ΔML и ΔM_s варьируют в зависимости от региона и магнитуды, поэтому при расчете сейсмической энергии рекомендуется использовать региональные соотношения.

Также для 34 землетрясений, для которых собраны макросейсмические данные и построены карты изосейст, исследовалась разница между магнитудами M_{SMOS} , M_{SISC} , M_w , M_k и магнитудой M_I , наилучшим образом соответствующей макросейсмическим данным и (2) с региональными коэффициентами. Установлено, что M_k в диапазоне $K_p = 9.7 \div 14.5$ превышает M_I в среднем на $\Delta M = 0.12 \pm 0.07$. Подстановка магнитуд M_{SISC} и M_{SMOS} в (2) дает нулевые отклонения от M_I в диапазоне $M_s = 4.5 - 7.7$, однако с уменьшением магнитуды наблюдается возрастающее занижение M_s по сравнению с M_I , превышающее при $M_s \leq 4.0$ случайную ошибку определения магнитуды ($\delta M = 0.25$). Моментная магнитуда, наоборот, при $M_w \leq 5.6$ имеет тенденцию превышения над M_I , возрастающего с уменьшением M_w (в среднем в диапазоне $M_w = 3.8 - 5.6$ оно составляет $\Delta M = 0.26 \pm 0.14$), тогда как при $M_w = 5.7 - 7.6$ отклонения от M_I минимальны. Эти тенденции необходимо учитывать при оценке макросейсмического эффекта землетрясений с использованием (2).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР, № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
2. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука, 1977. – С. 20–30.
3. Рихтер Ч. Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: Иностранная литература, 1961. – С. 13–44.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЧАГОВОЙ ЗОНЫ КЁНЕКЕСИРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 12.10.2015 Г. С $M_w=5.2$ В ЗАПАДНОМ КОПЕТДАГЕ

¹Н.В. Петрова, к.ф.-м.н., ²В.А. Салтыков, д.ф.-м.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

12 октября 2015 г. в 17 км к северу от пограничного с Ираном туркменского поселка Кёнекесир произошло землетрясение с $K_p=12.7$ ($M_s=4.6$ $M_w=5.2$), ощущавшееся в Кёнекесире интенсивностью 4–5 баллов и сопровождавшееся множеством афтершоков. В радиусе 30 км от эпицентра это самое крупное сейсмическое событие после Кёнекесирского землетрясения 21 октября 1994 г. с $M_s=5.2$. Оба землетрясения приурочены к зоне контакта Иранской и Туранской плит в районе Арчман-Нохурского тектонического узла, где северо-восточная ориентация разломов Западного Копетдага сменяется на северо-западную Центрального Копетдага. Северо-восточная ориентация разрыва, падающего на северо-запад, установлена и для землетрясения 12 октября 2015 г. по комплексу данных о механизме очага, конфигурации облака афтершоков и ориентации ближайших разломов. Подвижка представляла сброс с компонентами левого сдвига, что типично для землетрясений Западного Копетдага.

Для анализа сейсмического режима в окружающем очаг районе ($\varphi=38.0\text{--}38.6^\circ\text{N}$, $\lambda=56.6\text{--}57.4^\circ\text{E}$) был подготовлен каталог за 1982–2016 гг., представительный с $K_{\min}=6.6$ за весь период и с $K_{\min}=5.6$ с 2014 года. После удаления афтершоков землетрясений с $K_p \geq 12.6$ определены значения наклона графика повторяемости γ и сейсмической активности A_{10} за разные периоды времени, представленные в таблице ниже.

Период	1982–2013 гг.	2014 г.	1.1.2015–11.10.2015 г.	12.10.2015–31.12.2015 г.	2016 г.
γ	0.53	0.5	0.55	0.6	0.53
A_{10}	0.48	1.05	0.37	4.8	0.65

В районе очага установлено повышение A_{10} в 2014 г., а затем ее падение с начала 2015 г. до момента главного толчка ниже долговременного среднего значения за 1982–2013 гг. Исследование нормированных графиков повторяемости землетрясений в окружающем очаг районе показало, что параметр γ и, соответственно, фрактальная размерность разрывов, задействованных в афтершоковом процессе, постоянно увеличивались при удалении анализируемого промежутка времени от главного события, что свидетельствует о дроблении среды и релаксации напряжений на все более мелких разрывах. Пространственная область анализа афтершокового процесса определялась как 3σ -эллипс рассеяния афтершоков первого месяца, при этом очагом принимался 2σ -эллипс рассеяния. Рассчитаны центр ($\varphi=38.258^\circ\text{N}$, $\lambda=56.974^\circ\text{E}$), размеры афтершоковой зоны (большая ось $L=21.98$ км, малая ось $W=15.39$ км) и очага ($L=14.65$ км, $W=10.26$ км). Во временном развитии афтершокового процесса выявлены участок длительностью около пяти первых суток, соответствующий закону Омори с показателем $p=0.56$, и следующий участок экспоненциально затухающего режима с показателем $b=0.025$, продолжавшийся 4.5 месяца. Длительность афтершокового процесса, определенная с применением разных подходов [1, 2], составляет $\tau=140\text{--}186$ суток.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Прозоров А.Г. Динамический алгоритм выделения афтершоков для мирового каталога землетрясений. Математические методы в сейсмологии и геодинимике // Вычислительная сейсмология. Вып. 19. – М.: Наука, 1986. – С. 48–62.
2. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Воронаев П.В., Коновалова А.А. Количественный анализ сейсмичности. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 89–97. – EDN: GMEAPM

О МЕТОДИКЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЛОЖНЫХ ЗАПИСЕЙ МЕСТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

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

Сеть сейсмических станций, работающих на территории Воронежского кристаллического массива, ежегодно регистрирует более 400 местных сейсмических событий. Основная масса – это промышленные взрывы в карьерах [1].

При интерпретации местных сейсмических событий возникают различные проблемы, связанные как с наложением записей промышленных взрывов, произведенных практически в одно и то же время в разных карьерах [2, 3], так и с наложением записей тектонических событий на записи карьерных взрывов.

Наложение записей промышленных взрывов, произведенных в различных карьерах, связано в первую очередь с тем, что время проводимых буровзрывных работ в крупных карьерах приходится на период с 09:00 до 12:00 UTC, во-вторых, нет четкой привязки к дням недели, взрывы могут производиться в том числе и в выходные дни. Тектонические землетрясения происходят в любое время суток, и их записи могут случайно совпасть с записями промышленных взрывов.

При обработке и интерпретации местных сейсмических событий, в тех случаях, когда произошли наложения различных записей, предлагается следующая методика.

1. Применять полосовую фильтрацию в различных диапазонах частот с целью выделения вступлений объемных и поверхностных волн, пришедших из разных источников.

2. Сравнивать записи известных промышленных взрывов в разных карьерах, накопленные за время работы сети наблюдений.

3. Оценивать разности прихода объемных волн на различные станции для определения азимутов по P -волне.

4. Рассчитывать разность $S-P$ для оценки эпицентральных расстояний.

Предлагаемая методика дает результаты, в основном, при одновременной обработке записей сети сейсмических станций. Для единичных станций эта задача становится трудно решаемой, требуется внимательность и опыт работы интерпретатора.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Надежка Л.И., Пивоваров С.П., Сафронич И.Н., Ефременко М.А., Золототрубова Э.И. Воронежский кристаллический массив // Землетрясения Северной Евразии. 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 217–221. – EDN: UDDIUF

2. Пивоваров С.П., Ежова И.Т., Ефременко М.А. Изменение динамики производства буровзрывных работ в крупных карьерах на территории Воронежского кристаллического массива (2000–2021 гг.) // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 71. – EDN: CNDPLX

3. Санина И.А., Константиновская Н.Л. Особенности идентификации карьерных взрывов в центральной части Восточно-Европейской платформы по данным малоапертурной группы «Михнево» // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 2. – С. 23–32. – DOI: 10.35540/2686-7907.2022.2.02. – EDN: KRXTGL

МАГНИТУДНЫЕ ПОПРАВКИ 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) функционируют более 20 промышленных карьеров, в которых добыча полезных ископаемых производится с применением буровзрывных работ [1].

В [2] предложено для определения энергии сейсмических событий, вызванных промышленными взрывами в карьерах, использовать магнитуду M_S , определяемую по поверхностной волне и замеряемую на вертикальном канале записи. В настоящее время накоплен уже достаточно большой объем записей техногенных сейсмических событий, для которых была определена эта магнитуда.

Воронежская региональная сеть состоит из пяти сейсмических станций, три из которых («Сторожевое» (VSR), «Галичья гора» (LPSR), «Новохоперск» (VRH)) оснащены широкополосной аппаратурой, две станции («Дивногорье» (VORD), «Воронеж» (VORR)) – короткопериодными сейсмоприемниками. В качестве опорной станции, для которой магнитуда считается без поправки, принята станция VSR. Эта станция работает наиболее длительное время, входит в федеральную сеть наблюдений. Рассчитаны магнитудные поправки для сети сейсмических станций, работающих на территории ВКМ, которые необходимо учитывать при обработке и интерпретации сейсмических событий, вызванных промышленными взрывами. Так, для сейсмической станции VORD необходимо учитывать поправку -0.1 только для сейсмических событий, произошедших в Павловском карьере, для всех остальных карьеров поправку вводить не требуется. Для станции VORR поправка для Павловского карьера составляет $+0.2$, для всех остальных карьеров поправка равна -0.2 . При обработке техногенных сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической станцией LPSR, станционная поправка для карьеров «Павловск», «Лебединский» и «Стойленский» составляет $+0.2$, для всех остальных карьеров она равна -0.2 . Для станции VRH станционная поправка для карьеров «Павловск», «Лебединский» и «Стойленский» составляет $+0.2$, для всех остальных карьеров поправку вводить не нужно.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России* / Под. ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 384 с. – EDN: SHAMBV
2. *Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Пивоваров Р.С.* Возможность определения магнитуды M_S техногенных сейсмических событий на территории Воронежского кристаллического массива // *Российский сейсмологический журнал*. – 2022. – Т. 4, № 2. – С. 33–41. – DOI: 10.35540/2686-7907.2022.2.03. – EDN: IHFDLM

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КРУПНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ОБЪЕКТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

¹П.О. Полянский, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н.,
³Ю.А. Виноградов, д.т.н., ¹Е.В. Шевкунова
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск
³ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

В докладе рассмотрены основные очаговые области вокруг крупных инженерных объектов в Западной Сибири. Исследованы сейсмические воздействия на Новосибирскую ГЭС и Енисейский каскад гидроэлектростанций. Магнитуда промышленных взрывов в большинстве районов, как правило, не превышает $1\div 3$, в редких случаях достигая 4. Наиболее сильные по магнитуде взрывы производятся на угольных месторождениях Хакасии. Сильное воздействие на Енисейский каскад ГЭС могут оказывать крупные землетрясения на границах Тувино-Монгольского блока (например, Тувинские 2011–2012 гг. с $ML=6.7\div 6.8$ и Хубсугульское 2021 г. с $ML=6.9$). Новосибирская ГЭС испытывает воздействие природной сейсмичности от близких очаговых зон в Камне-на-Оби, от платформенных землетрясений и от техногенных землетрясений в Горловском угольном бассейне [1].

В районе аварийного резервуара в г. Норильске получена детальная информация о состоянии верхней части разреза в зоне размещения резервуара, о состоянии резервуара и его опорных конструкций. Максимальные сотрясения от промышленных взрывов – менее 1 балла. По сейсмическим данным отмечается, что грунты в верхней части разреза под резервуаром находятся в пластично-мерзлом состоянии. Можно заключить, что аварии способствовало сочетание особенностей геологического строения, приведшее к резонансам слоя под конструкцией, длина свай, для части конструкции меньшая, чем глубина залегания наиболее плотных пород, и повышенные амплитуды собственных горизонтальных колебаний платформы.

Исследованы параметры сейсмических воздействий от разных типов источников на площадку ЦКП «СКИФ» [2]. Природные и техногенные землетрясения создают более интенсивное и широкополосное воздействие на площадку, чем промышленные взрывы. Шумы автомобильного транспорта охватывают частоты от 4 до 30 Гц и быстро затухают с удалением от дороги. Железнодорожные помехи имеют характерный вид набора кратных гармоник, охватывающих широкий диапазон частот, при этом длительность записи шума от проходящего поезда может достигать 10 мин.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН по проекту № 075-01271-23 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>) и Института нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука СО РАН по проекту ФНИ № FWZZ-2022-0021.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А. Техногенная сейсмическая активизация в районе Горловского угольного бассейна // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 207–211. – DOI: 10.15372/FPVGN2021080132. – EDN: HOUDJN
2. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Левичев Е.Б., Соловьев В.М. и др. Изучение сейсмических воздействий на площадку строительства ЦКП «СКИФ» // *Вопросы инженерной сейсмологии*. – 2022. – Т. 49, № 3. – С. 5–38. – DOI: 10.21455/VIS2022.3-1. – EDN: FHOLZR

ВЫЯВЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОЙ АРМЕНИИ

Б.В. Саакян, М.А. Мкртчян, Р.К. Карапетян, А.Г. Сехпосян
ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Армения

Богатые исторические сведения и современные инструментальные данные сейсмичности указывают, что территория Северной Армении и примыкающая к ней область Джавахетского нагорья является одной из наиболее сейсмоактивных районов Кавказского региона. Эта область представляет собой сложный геолого-тектонический узел.

Наличие в сейсмическом поле большого количества очагов сильных землетрясений, а также ряд исследований напряженно-деформационного состояния земной коры этой территории указывает на то, что здесь происходят интенсивные взаимосвязанные региональные и локальные сейсмо-геодинамические процессы [1].

На основе анализа тензорных компонентов объемных деформаций, определяемых сейсмическими моментами слабых землетрясений энергетических классов $K=7\div 10$, оценено и картировано иерархическое напряженно-деформационное поле земной коры, имеющей сложную блоковую структуру. Локальными значениями кинематических характеристик относительных сеймотектонических подвижек слабой сейсмичности выделены области аномальных проявлений накопления и высвобождения динамических полей тектонического напряжения. Ретроспективный анализ временных рядов параметров сейсмического режима показывает, что пространственно-временной ход процессов перераспределения и разрядки напряженных полей наилучшим образом прослеживается во время процесса подготовки как сильных, так и средних по силе землетрясений.

Для этой территории осуществлен сопоставительный анализ наблюдаемых текущих стадий процессов подготовки и возникновения ряда произошедших сильных землетрясений с последовательными этапами теории разрушения твердого тела. Выявлено, что для гетерогенной среды области молодого вулканизма характерен процесс формирования пространственно-временно-энергетического группирования сейсмических событий, который наилучшим образом аппроксимируется со стадиями возникновения трещиноватости и нарастания порового давления, согласно дилатационно-диффузионной модели подготовки тектонического землетрясения.

Полученные результаты указывают, что применение этих методических подходов, наряду с комплексом проведенных режимных геофизических наблюдений, является перспективным подходом для выделения областей и временных периодов подготовки землетрясений магнитудой $M=4.5\div 5.5$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Геодакян Э.Г., Саакян Б.В.* Сейсмогеодинамические процессы на территории Северной Армении // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 122–126. – EDN: SWNMYP

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ

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

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

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

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

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

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

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Gutenberg R., Richter C.F.** Frequency of earthquakes in California // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1944. – V. 34, N 4. – P. 185–188. – DOI: 10.1785/BSSA0340040185

ОСОБЕННОСТЬ ВЫБОРА СЕЙСМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

И.Н. Сафронич
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Совершенствование цифрового оборудования позволило начать сейсмические наблюдения территорий, считавшихся ранее асейсмичными. Исследования показали, что землетрясения там тоже наблюдаются, однако по сравнению с сейсмически активными территориями они являются слабыми. Так, например, за 25 лет наблюдений на территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) зарегистрировано только одно землетрясение с магнитудой $M=3$. На сейсмически активных территориях такая магнитуда является нижней границей для включения землетрясения в ежегодные каталоги. Поэтому требования к используемому оборудованию должны принципиально отличаться.

Это важно учитывать при построении систем сейсмологического мониторинга объектов использования ядерной энергии [1]. Согласно графику повторяемости, приведенному в Приложении 3 руководства по безопасности РБ-142-18, для Ленинградской АЭС сейсмическое событие с $M=1$ на слабосейсмичной территории площадью 1000 км^2 генерируется геологической средой в течение одного года. Для выполнения ежегодного ТЗ необходимо обеспечить регистрацию значимого числа землетрясений в год. Тогда мониторинговая сеть должна иметь порог чувствительности $M=-1$, то есть должна регистрировать волны с амплитудами, сравнимыми с «фоновыми». Обобщение спектров фона сейсмических станций на территории ВКМ показало, что минимальное значение уровня в размерности модели Дж. Петерсона $\{(m^2/c^4)/\text{Гц}\}$ соответствует значению -155 дБ . При этом нижняя граница модели (NLNM) на той же частоте находится возле -170 дБ . Этот диапазон является оптимальным для цены деления сейсмометрического канала оборудования, позволяющего регистрировать слабые сейсмические события. При несложном перерасчете значение одного отсчета соответствует диапазону амплитуд скорости $0.5-2.8 \text{ мм/с}$ (коэффициент преобразования $360-2000 \text{ отсч}/(\text{мм/с})$), что для территории ВКМ обеспечивает возможность регистрации фоновых колебаний. Регистратор с АЦП 24 разряда позволяет записывать без искажения волны с максимальными амплитудами $16-23 \text{ мм/с}$, что для ВКМ является достаточным для подавляющего числа землетрясений.

Самым важным параметром, который проверить на вибростенде сложно, является уровень собственного шума сейсмометрического канала. От него напрямую зависит регистрация слабых сейсмических событий. Для выбора оборудования предлагается тестирование комплектов, размещенных в одном и том же «тихом» месте по записям фоновых колебаний. Если уровень собственного шума каналов низкий, то мгновенные амплитудные спектры одномоментных записей будут содержать только «регулярные» фоновые колебания. Присутствие шума в спектре завышает фоновые значения спектральных амплитуд. Для мониторинга используются только те комплекты оборудования, у которых мгновенные амплитудные спектры любых тихих одномоментных фрагментов записи накладываются друг на друга в рабочей полосе частот, т.е. подтверждается минимальность или полное отсутствие шума в цифровых записях фона.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кишкина С.Б., Бугаев Е.Г., Лободенко И.Ю. Разработка и реализация системы сейсмологического мониторинга на основе руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Сейсмологический мониторинг участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов» (РБ-142-18) // Ядерная и радиационная безопасность. – 2021. – № 1 (99). – С. 28–42. – DOI: 10.26277/SECNRS.2021.99.1.003. – EDN: JHGSSG

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ПО ДАННЫМ ГНСС

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

Северный Кавказ относится к числу наиболее сейсмически активных регионов Северной Евразии. За последние десятилетия здесь произошла целая серия сильных землетрясений, приведших к разрушениям и человеческим жертвам. К числу таких событий относятся Дагестанское 1970 г., Черногорское 1976 г., Курчалойское 2008 года. Сейсмичность данного района обусловлена релаксацией сложной конфигурации региональных тектонических напряжений вдоль развитой системы разломов [1]. В связи с этим особенно актуально проводить мониторинг пространственно-временных вариаций современных движений и деформаций земной коры региона с целью наблюдения за динамикой сейсмогенерирующих разломов.

В настоящее время для изучения современных движений и деформаций земной коры в сейсмически активных регионах активно применяются методы космической геодезии, в том числе основанные на приеме сигналов Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) [2]. Существующие методики обработки и анализа ГНСС-данных позволяют организовать мониторинг современных движений и деформаций земной поверхности, обусловленных действием различных геодинамических процессов природного и техногенного характера.

С целью исследования пространственных-временных особенностей поля современных движений и деформаций земной коры Северного Кавказа в работе исследуются многолетние спутниковые геодезические измерения на станциях постоянных наблюдений ФИЦ ЕГС РАН, ВЦ РАН и ГАИШ МГУ. В результате обработки полученных данных выполнены оценки ежесуточных положений станций, которые скомбинированы в продолжительные временные ряды. На основе применения методологии регрессионного анализа временных рядов получены корректные оценки мгновенных косейсмических смещений, амплитуд сезонных колебаний и вариаций скоростей смещения станций ГНСС-наблюдений. Полученные результаты позволили провести исследование вариаций полей величин, характеризующих деформацию земной коры региона, выделить области повышенных деформаций и сопоставить их с активными разломными структурами.

Авторы выражают благодарность научному сотруднику ГАИШ МГУ А.П. Миرونору за предоставленные ГНСС-измерения на станциях ГАИШ МГУ.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рогожин Е.А., Милуков В.К., Мионов А.П. и др.* Характеристики современных горизонтальных движений в зонах заметных землетрясений начала XXI в. в центральном секторе Большого Кавказа по данным GPS-наблюдений и их связь с новейшей тектоникой и глубинным строением земной коры // Геофизические процессы и биосфера. – 2004. – Т. 18, № 1. – С. 91–102.
2. *Стеблов Г.М.* Современная космическая геодезия и системы относимости // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 398, № 6. – С. 815–817. – EDN: OQDVZF

МЕТОД СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА «ДИСКОНТ»

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

25 лет назад сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН был запатентован способ определения физического состояния зданий и сооружений [1]. Идея способа заключается в выделении из зарегистрированных на объекте сейсмических данных стоячих волн, определении их собственных мод колебаний и анализе полученных данных с целью определения физического состояния изучаемых объектов. Несмотря на то, что за прошедшее время изучено большое количество ГЭС, мостов, зданий и других сооружений, метод позволяет получить данные об изучаемом объекте в конкретное время. Чтобы определить изменения во времени, необходимо повторять исследования. Мы как бы получаем отдельные фотографии, снятые в моменты проведения экспериментов, а хотелось бы получить изменения параметров объекта во времени (не фотографии, а фильм). С этой целью и был разработан «Прецизионный метод дистанционного мониторинга собственных частот зданий, сооружений и амплитудно-частотных характеристик работающего оборудования» (метод дистанционного контроля «ДИСКОНТ»). Он основан на превращении сейсмических записей, полученных на изучаемом объекте или на расстоянии от него, в спектрограммы. При этом сейсмическая запись разбивается на определенные по времени участки, вычисляются спектры этих участков записи, и с заданным сдвигом спектры выстраиваются в единую картину, располагаясь один под другим. На полученной картинке хорошо выделяются монохроматические колебания с разной добротностью. Здесь регистрируются как собственные колебания зданий и сооружений (они, как правило, низкодобротные), так и сигналы от работающего оборудования точно так же, как и от вибрационных источников сейсмических волн. Теперь надо разобраться с тем, что регистрируется. Если по результатам исследований известны моды собственных колебаний объекта, то по спектрограмме можно определить частоты этих мод и в дальнейшем проследить их изменения как по амплитудам, так и по частоте во времени. Тем самым изучаются изменения физических параметров объекта. Также во времени изучается и работающее оборудование. Чтобы определить, какая частота соответствует какому оборудованию, достаточно, например, его включить и выключить и отметить время, когда произвели эту процедуру. Изменения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) этого сигнала говорят о возникающих дефектах в оборудовании. Если найти корреляционные зависимости между АЧХ сигналов, излучаемых работающим оборудованием, и производимой этим оборудованием продукцией, то можно решать и более сложные задачи, чем мониторинг оборудования. Установив не одну, а несколько станций, и используя при вычислениях суперкомпьютеры, программное обеспечение Big Data Analytics и искусственный интеллект, можно контролировать крупное предприятие и даже весь город. Почему метод называется прецизионным – потому, что точность определения частот связана с длиной отрезка сейсмограммы. Так, при длине в 1000 с точность определения частоты достигает 0.001 Гц. Дистанционным – потому, что сейсмограммы можно получать вдали от источника колебаний (так же, как и с вибратором) и накапливать сигнал хоть несколько суток. Однако при этом и детальность наблюдений будет тоже составлять сутки.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Барышев В.Г., Кузьменко А.П. Способ определения физического состояния зданий и сооружений / Патент на изобретение RU 2140625 С1. Бюл. № 30 от 27.10.1999 г. – EDN: EZZJKH

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.Е. Семенов, И.Т. Ежова, О.Е. Иванков
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Геофизические поля, в особенности гравитационное поле, отражая строение и состояние различных глубинных уровней литосферы, являются, в основном, той основой, которая используется при сейсмическом районировании различного уровня, выделение геодинамических активных зон, оценки сеймотектонических движений в зонах разломов. Территория Воронежского кристаллического массива (ВКМ) – структуры с двухъярусным строением – хорошо изучена геофизическими методами. В целом, гравитационное поле ВКМ обнаруживает зональное строение, выражающееся в чередовании крупных отрицательных и положительных аномальных зон. Выделяются Северо-Западная (Могилевская) и Центральная (Курская) отрицательные, Западная (Брянская) и Восточная (Воронежско-Волгоградская) положительные аномалии (аномальные зоны). Они под углом ориентированы к оси Воронежской антеклизы и только Курская региональная аномалия, осложненная на северо-востоке и юге гравитационными эффектами авлакогенов, имеет в этих частях простираение согласное с бортами антеклизы.

Переход региональных аномалий друг в друга осуществляется через различные по ширине полосы интенсивных горизонтальных градиентов, осложненных рядом локальных элементов различного знака. Внутренняя структура каждой из аномальных зон имеет индивидуальные особенности. Вместе с тем, трансформации гравитационного поля в верхнее полупространство однозначно свидетельствуют о глубинной природе региональных аномалий гравитационного поля. Сопоставление в плане распределения эпицентров землетрясений и региональных особенностей поля силы тяжести показывает, что значительное число землетрясений происходит в зоне сочленения крупных региональных аномалий – Курской и Восточной. Следует также отметить, что крупная региональная аномалия северо-восточного простираения в северной части характеризуется повышенным количеством эпицентров землетрясений, что указывает на динамическую активность этой части региона. Кроме того, отчетливо проявляется приуроченность эпицентров к локальным аномалиям поля силы тяжести, которые, как правило, картируют интрузии различного состава.

В целом гравитационное поле, отражая плотностные неоднородности литосферы различного ранга, коррелируется с распределением эпицентров землетрясений. Выявленные соответствия могут служить в качестве критерия для выделения динамически активных зон, прогнозной оценки их сейсмической активности. Анализ гравитационного поля в сочетании с данными о распределении эпицентров землетрясений позволяет установить связь между структурой и деформациями в литосфере и сейсмической активностью региона. В дальнейшем это позволит более эффективно прогнозировать сейсмический риск, способствуя безопасности и благополучию населения в данном регионе.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов А.Е., Надёжка Л.И. Некоторые особенности глубинного строения и современная сейсмическая активность Воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 324–327. – EDN: ZSKPAB

О ТОЧНОСТИ ЛОКАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВКМ

¹А.Е. Семенов, ¹М.А. Ефременко, к.г.-м.н., ²Е.В. Семенова, к.б.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж
²ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, г. Воронеж

При проведении сейсмологических наблюдений одним из ключевых моментов является определение координат сейсмических событий (φ , λ). Точность их определения зависит от разного рода ошибок. Грубые ошибки, вызванные промахами в обработке, рассматривать не будем. Такие измерения отбраковываются. Из множества экспериментальных ошибок, составляющих общую ошибку определения долготы (φ) и широты (λ) сейсмического события, рассматриваются две: систематическая и случайная.

Систематические ошибки – это такие значения случайной величины, математическое ожидание которых отличается от нуля [1]. В случае определения координат сейсмического события эта ошибка, как правило, обусловлена использованием для обработки сейсмической модели (годографа), не соответствующей фактической реальной сейсмической модели (годографа). В этом случае вычисленные значения смещены как по широте, так и по долготе относительно истинного значения. Так, анализ точности определения координат промышленных взрывов в Павловском карьере показал, что при использовании в обработке годографа IASPEI-91 систематическая ошибка составляет: $+0.1^\circ$ по широте и $+0.06^\circ$ по долготе. Следует отметить, что анализ выполнен на основе относительно небольшой базы. Всего использовались данные 14 событий, для которых были известны фактические координаты взрыва.

Второй тип рассматриваемых ошибок – это случайные ошибки. Случайные ошибки при определении координат сейсмических событий могут быть обусловлены, в основном, ошибками в определении первых вступлений продольных, поперечных и поверхностных волн. При достаточном количестве станций (не менее восьми) [1] случайная ошибка близка к нулю в результате минимизации среднеквадратического отклонения путем решения системы уравнений. Эта процедура, как правило, является составной частью программы обработки.

В целом средняя квадратическая ошибка одного определения координат ($\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$) характеризуется совместным влиянием как систематической, так и случайной ошибок.

Для уменьшения ошибок локации сейсмических событий выполнены следующие экспериментальные работы.

1. Анализ фактических сейсмических моделей в разных направлениях от источников колебаний с целью выяснения скоростной анизотропии земной коры, определения глубинных уровней, где отличия в скорости продольных и поперечных волн в разных азимутах наиболее значительны.

2. Определение времени первых вступлений продольных, поперечных и поверхностных волн по результатам сейсмологических наблюдений на разных удалениях от источника.

3. Уточнение региональной сейсмической модели с учетом пунктов 1 и 2.

Использование уточненной региональной модели и соответствующего ей годографа позволяет уменьшить ошибку и повысить точность локации сейсмических событий.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гайдаев П.А., Большаков В.Д.* Теория математической обработки геодезических данных. – М.: Недра, 1989. – 388 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «ОЧАГ-1» ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

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

Поиск электромагнитных предвестников сильных землетрясений ($M > 5$) ведется с середины XX века. Группой профессора Ю.А. Копытенко с 1980-х гг. разрабатывается метод краткосрочного прогноза землетрясения по УНЧ электромагнитным эмиссиям, осуществляющимся за 1–60 дней до сейсмического толчка [1, 2]. Метод заключается в синхронной регистрации вариаций электромагнитных полей на двух разнесенных до 100 км группах станций. Каждая группа состоит из трех станций, на которых осуществляется регистрация трех компонент вектора магнитной индукции и двух взаимно-ортогональных горизонтальных компонент теллурического поля. В ходе обработки анализируется поведение векторов градиента и фазовой скорости компонент электромагнитного поля, по характерным изменениям которых делается вывод об аномальных изменениях на контролируемой площади и, как следствие, подготовки землетрясения. Метод опробован в ряде сейсмоактивных зон Земли (Тихоокеанский и Среднеазиатский пояса).

Для реализации этого метода разработан геофизический комплекс «Очаг-1», в настоящее время проводится развертывание комплекса на территории Республики Узбекистан в Ташкентской области.

В работе приведены особенности технической и аппаратно-программной реализации комплекса «Очаг-1» и предварительные оценки качества полученных данных на Ташкентском геодинамическом полигоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kopytenko Yu.A., Matiashvili T.G., Voronov P.M., Kopytenko E.A., Molchanov O.A.* Detection of ultra-low-frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 1993. – N 77 (1–2). – P. 85–95. – DOI: 10.1016/0031-9201(93)90035-8.
2. *Kopytenko Yu.A., Ismagulov V.S., Hattori K., Hayakawa M.* Anomaly disturbances of the magnetic fields before the strong earthquake in Japan on March 11, 2011 // *Annals of Geophysics*. – 2012. – N 55 (1). – P. 101–107. – DOI: 10.4401/ag-5260

СПЕКТРАЛЬНО-КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ ВЗРЫВОВ С БЛИЗКИМИ КООРДИНАТАМИ

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

¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ¹П.О. Полянский, к.г.-м.н.

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Исследованы сейсмограммы несанкционированных взрывов на складе боеприпасов и промышленных взрывов для решения ряда сейсмологических задач.

Первая задача относится к оценке точности определения координат источника. Взрывы использованы в качестве калибровочных сигналов. Координаты известны с точностью до 1 км, источники находятся на дневной поверхности. Записи с высоким соотношением сигнал/помеха были получены на удалениях до 500 км от источника. В данном случае источник – точечный с многократным повторением. При использовании скоростной модели для Алтае-Саянской горной области мы имеем облако событий, смещенных от склада. Скорректировав скоростную модель с использованием данных ГСЗ [1], удалось сузить облако источников. Полностью избежать разброса не удалось, что связано с неточностью определения вступлений *P*- и *S*-волн.

Вторая задача – это динамическая повторяемость записей взрывов. Исследования сейсмического эффекта взрывов [2] позволяют сформировать представление о затухании волн взрывов в пространстве и их повторяемости. Короткозамедленное взрывание, используемое при проведении промышленных взрывов, на больших удалениях от источника существенно меняет динамику волн за счет изменения диаграммы направленности источника [3, 4]. Исследование повторяемости волновых полей выполнено путем сравнения текущих спектров промышленных взрывов и взрывов боеприпасов, 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 получен очень низкий коэффициент корреляции – менее 0.5. Разделение полей продольных и поперечных волн повысило коэффициент корреляции до 0.8. Взрывы боеприпасов могут рассматриваться как сейсмическое воздействие на среду с существенно отличающимися характеристиками направленности источника излучения волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН по проекту № 075-01271-23 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>), и Института нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука СО РАН по проекту ФНИ № FWZZ-2022-0021.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Атлас «Опорные геолого-геофизические профили России»*. Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 г. [Электронное издание]. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. – 94 с. – URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/seismic>
2. *Садовский М.А.* Избранные труды: Геофизика и физика взрыва / Отв. ред. В.В. Адушкин. – М.: Наука, 2004. – 440 с.
3. *Еманов А.Ф.* Влияние короткозамедленного взрывания на сейсмограммы промышленных взрывов // *Геология и геофизика*. – 1982. – № 9. – С. 81–89.
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 Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности*. – 2018. – № 3. – С. 57–72. – DOI: 10.25558/VOSTNI.2018.7.52.008. – EDN: XZHZZH

БАЗА ДАННЫХ ВАРИАЦИЙ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

И.А. Сизаск
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Микросейсмический шум – сложный волновой процесс, содержащий составляющие разной природы и разного типа в широком диапазоне частот. Это и собственные колебания Земли, и волновые составляющие, отражающие влияние космических и атмосферных воздействий на литосферу, это и влияние штормов в океанах, и реакция структурно-вещественных комплексов на антропогенную нагрузку, эндогенный шум неоднородной и нелинейной геологической среды. Все составляющие обнаруживают временные вариации в различных диапазонах частот, отражая тем самым характер и силу воздействий различных факторов на литосферную оболочку Земли и свидетельствуя о нелинейных процессах, происходящих в геологической среде [1].

На территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) с 1999 г. выполняется сейсмический мониторинг сетью сейсмических станций, анализируется микросейсмический шум (МСШ) в диапазоне частот 0.1–20.0 Гц (открытый канал), а также в трех диапазонах частот 0.1–0.4, 0.7–1.4 и 2.0–8.0 Гц. Выбор диапазонов частот основан на различиях в динамике изменения уровня в течение года, а также с учетом структуры спектрального состава МСШ [2]. Создана база временных вариаций уровня МСШ. Она включает вариации уровня МСШ по всем станциям региональной, локальной и временным сетям. База VRN20DB содержит вариации исходного микросейсмического шума и фильтрованного в трех диапазонах частот, осредненного в 20-минутном интервале. В ней хранятся данные с 1999 г. по настоящее время. База пополняется новыми расчетами по мере поступления данных.

Добавление новых данных в базу VRN20DB.db осуществляется посредством работы скрипта VRN_mean.py. После его запуска формируется список недостающих в базе VRN20DB.db записей, по сформированному списку запрашиваются записи волновых форм, каждый 20-минутный интервал фильтруется набором фильтров (открытый канал, полосовые фильтры 0.1–0.4, 0.7–1.4 и 2–8 Гц). Осредненные значения записываются в БД VRN20DB.db в таблицу VRN20NEW после окончания расчета, все уникальные записи (не совпадающие с теми, что в таблице VRN20) из таблицы VRN20NEW копируются в таблицу VRN20.

Эти данные находят применение при разработке проблем природы микросейсмического волнового поля, нелинейных процессов, происходящих в литосфере и их связи с процессами, происходящими в околоземном пространстве.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Надёжка Л.И., Орлов Р.А., Пивоваров С.П. и др.* О связи параметров сейсмического шума с геологическими и геодинамическими особенностями Воронежского кристаллического массива // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2003. – № 2. – С. 179–185. – EDN: PJCVGL
2. *Надёжка Л.И., Сафронич И.Н., Сизаск И.А., Семенов А.Е.* Динамика микросейсмического шума в центральной части воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 63. – EDN: PRFMJM

ДВОИЧНЫЕ ОТПЕЧАТКИ: НОВЫЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ

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

Двоичные отпечатки изначально были изобретены для поиска по фрагменту музыкальных композиций в большой базе данных. Оказалось, что и в сейсмологии им есть место [1]. Как одно и то же музыкальное произведение разные исполнители играют по-разному, так и землетрясения или взрывы, сохраняя определенные характерные черты, тоже непременно несут в себе уникальные особенности.

В основе двоичных отпечатков лежит двумерное частотно-временное изображение анализируемого сигнала. Это может быть спектрограмма или вейвлетограмма (полученная с помощью непрерывного вейвлет-преобразования). Второй вариант, конечно, предпочтительнее вследствие выдачи более «четкого» изображения. Мы предлагаем дополнительно делать выпуклую оболочку вейвлетограммы, как огибающую всех экстремумов, называя ее энергограммой. Этот прием позволяет сосредоточиться конкретно на частотно-временном портрете сигнала, так как для его идентификации частные случаи флуктуаций всех частотных составляющих не существенны.

В дальнейшем энергограмма децимируется до малой матрицы и подвергается двумерному дискретному вейвлет-преобразованию. Используется самый простой вейвлет Хаара. Он прекрасно справляется с задачей еще большего сжатия данных. Результат этого преобразования есть фракталоподобный композит, раскладывающий исходную энергограмму на несколько разномасштабных уровней. В каждом из них представляются частотно-временные особенности тех черт изображения, которые имеют в нем ориентацию вдоль оси времени, вдоль оси частоты или диагонально. Затем производится выборка ограниченного числа наибольших вейвлет-коэффициентов, предварительно центрованных. Это «созвездие» затем бинаризуется с присвоением кода 10_2 максимумам, 01_2 – минимумам и 00_2 – всему остальному содержимому.

Итог преобразований имеет объем в десятки тысяч раз меньше объема исходной записи и, тем не менее, позволяет сохранять и воспроизводить при анализе все наиболее существенные в деле идентификации природы сейсмического события черты.

Мы нашли и другое применение двоичным отпечаткам, которое работает и без длительного кропотливого накопления их в больших базах данных эталонов. Оказалось, что эта методика отлично работает с задачей оценки оптимальных параметров низкочастотного шума при фильтрации в сложных условиях высокой его интенсивности и частичного перекрытия спектра шума со спектром полезного сигнала.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bergen K.J., Beroza G.C.* Earthquake fingerprints: Extracting waveform features for similarity-based earthquake detection // Pure and Applied Geophysics. – 2019. – V. 176. – P. 1037–1059. – DOI: 10.1007/s00024-018-1995-6

ОЩУТИМОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 25 АПРЕЛЯ 2023 Г. В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ПРИКАСПИИ (ЗАПАДНЫЙ КАЗАХСТАН)

И.Н. Соколова, д.ф.-м.н., И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н., Е.А. Бабкова
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

25 апреля 2023 г. в Мангистауской области Республики Казахстан произошло ошутимое землетрясение с $mb=4.5$. Географически эпицентр приурочен к Северо-Устюртской складчатой системе, в асейсмичном районе, между Южно-Эмбенской-Мугоджарской и Центрально-Устюртской сейсмогенерирующими зонами [1, 2]. Анализ сейсмологических бюллетеней как глобальных сейсмологических сетей мониторинга, так и региональных показал, что исследуемое сейсмическое событие является на текущий момент самым сильным инструментально зарегистрированным землетрясением Мангистауской области.

Отметим, что в этом регионе в советский период времени отсутствовали регулярные сейсмические наблюдения. В августе-сентябре 2016 г. (десять станций), а также с сентября 2021 г. по октябрь 2022 г. (десять станций и две малоаппертурные сейсмические группы) в Мангистауской области прошли полевые работы совместной экспедицией Мичиганского государственного университета США и ИГИ НЯЦ РК с целью изучения характеристик сейсмического шума для выбора места установки новой сейсмической станции в Западном Казахстане. В ходе мониторинга сейсмичности на территории Западного Казахстана, в частности, в Мангистауской области были выявлены очаги тектонических землетрясений малой энергии.

Землетрясение 25 апреля 2023 г. было зарегистрировано большим количеством сейсмических станций как на региональных, так и на телесеизмических расстояниях. В ФИЦ ЕГС РАН получено оперативное решение, а также проведен более детальный анализ параметров землетрясения с участием большого количества сейсмических станций. Для обработки было использовано математическое обеспечение GEOTOOL, в качестве скоростной модели использован годограф Шацилова для территории Западного Казахстана, составленный по данным ГСЗ. Использованы данные 52 сейсмических станций на эпицентральных расстояниях от 420 км (INDER, сеть QZ) до 5759 км (KLR, сеть ФИЦ ЕГС РАН, MCM). В собранную виртуальную сеть вошли станции ФИЦ ЕГС РАН, расположенные на Кавказе, Восточно-Европейской платформе, Урале и Сибири; станции сети SNECCA на территории Казахстана, Киргизии, Армении, Азербайджана и Грузии; ИГИ НЯЦ РК, IRIS IDA и MCM. В полученном решении $t_0=07:25:04.1$, $\varphi=44.8127^\circ\text{N}$, $\lambda=52.5490^\circ\text{E}$, $h=10$ км, $S_{\text{maj}}=9.8$ км. Результаты локализации были сопоставлены с параметрами землетрясения, полученными международными и региональными сейсмологическими центрами.

Механизм очага землетрясения 25 апреля 2023 г. представлен сдвигом с компонентами сброса. Проведено сравнение с механизмами очагов землетрясений вблизи оз. Шалкар (1989 и 2008 гг.) и в Атырауской области (2021 г.). Проанализированы характеристики сейсмичности Западного Казахстана с исторических времен до 2023 года. Рассмотрены наиболее вероятные причины землетрясения 25 апреля 2023 года.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимуш А.В., Тарадаева Т.В., Степаненко Н.П., Садыкова А.Б., Сыдыков А. Сейсмогенерирующие зоны Казахстана. – Алматы: ТОО «Хай Технолоджи», 2012. – 80 с.
2. Садыкова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. – Алматы, 2012. – 267 с.

ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СРЕДЫ УЧАСТКОВ РАЗМЕЩЕНИЯ КРУПНЫХ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ОКРЕСТНОСТИ НОВОСИБИРСКА

¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ²В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н.,
^{1,3}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹С.А. Елагин, ¹Н.А. Серёжников, ¹Н.А. Галёва
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
³ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Эксперименты по вибросейсмическому мониторингу земной коры проводились в конце XX в. на Быстровском полигоне с использованием 100-тонного вибратора [1]. Прецизионность экспериментов была доказана по повторяемости коррелограмм для серий сеансов излучения, следующих друг за другом. Были изучены сезонные изменения динамики волновых полей, связанных с промерзанием и оттаиванием грунта, и чувствительность времен вступления волн только к изменениям в земной коре.

В работе представлены результаты экспериментов с 40-тонным центробежным вибратором ЦВ-40 с Быстровского полигона для мониторинга среды участков размещения крупных народнохозяйственных объектов в окрестности Новосибирска – крупнейших угледобывающих разрезов «Колыванский» и «Восточный» в Горловской впадине, – используя записи станций эксперимента [2] и записи станций эксперимента на площадке строительства источника синхротронного излучения поколения 4+ Центра коллективного пользования «Сибирский кольцевой источник фотонов» (ЦКП «СКИФ») [3]. Приведены примеры коррелограмм, полученных в окрестности угольных разрезов на удалении 60–70 км от вибратора. Показана высокая точность мониторинга по кинематическим параметрам (~0.003 с). Установлено отсутствие значимых вариаций в вибросейсмическом мониторинге на сейсмостанции «Елбаши» вблизи разреза «Колыванский» (в разности времен пробега продольных волн на станции «Елбаши» и опорной стационарной сейсмостанции «Новосибирск» вне территории угольных разрезов), что связывается с малой областью деструкции произошедших здесь техногенных землетрясений с магнитудой до 4.3 в осадочном чехле впадины. В окрестности ЦКП «СКИФ» эксперименты с вибратором ЦВ-40 показали принципиальную возможность его применения для режимных вибросейсмических наблюдений и мониторинга участка критически важного объекта.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН по проекту № 075-01271-23 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>), и Института нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука СО РАН по проекту ФНИ № FWZZ-2022-0021.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Чичинин И.С., Капцов О.В., Кашун В.Н., Жемчугова И.В., Дучков А.Д. Исследование динамических особенностей сезонных изменений волновых полей при вибросейсмическом мониторинге среды // Геология и геофизика. – 1999. – № 3. – С. 474–486.
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А. Техногенная сейсмическая активизация в районе Горловского угольного бассейна // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 207–211. – DOI: 10.15372/FPVGN2021080132. – EDN: HOUDJN
3. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Левичев Е.Б., Соловьев В.М. и др. Изучение сейсмических воздействий на площадку строительства ЦКП «СКИФ» // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2022. – Т. 49, № 3. – С. 5–38. – DOI: 10.21455/VIS2022.3-1. – EDN: FHOLZR

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 11/23 СЕНТЯБРЯ 1888 Г. В СИСТЕМЕ СЕВЕРО-АНАТОЛИЙСКИХ РАЗЛОМОВ

Р.Э. Татевосян, д.ф.-м.н., Н.Г. Мокрушина
ИФЗ РАН, г. Москва

В рамках концепции тектоники плит Восточно-Анатолийские разломы являются зоной, по которой проходит граница между Аравийской плитой и Анатолийским блоком [1]. Протяженность зоны составляет свыше 600 км. В северо-восточной оконечности зоны Восточно-Анатолийских разломов в 1888 г. произошло землетрясение, вызвавшее значительные разрушения. В работе положение гипоцентра и магнитуда землетрясения 11/23 сентября 1888 г. определены на основании оригинальных макросейсмических сведений, опубликованных в Российской печати на русском, армянском и грузинском языках. Расчеты с использованием методики [2] показали, что магнитуда этого землетрясения в прежних каталогах исторических землетрясений была существенно недооценена [3]. Точность локации гипоцентра позволяет идентифицировать активный разлом, с которым связан очаг землетрясения 1888 года. Произошедшее спустя почти 100 лет землетрясение с $M_w=6.6$ подтверждает долговременную активность западной ветви Восточно-Анатолийской зоны разломов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Duman T.Y., Emre Ö.* The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics // Geological Society, London, Special Publications. – 2013. – V. 372. – P. 495–529. – DOI: 10.1144/SP372.14
2. *Mäntyniemi P., Tatevossian R., Vakarchuk R.* On the epicenter determination of historical earthquakes attested to by sparse intensity data sets // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2017. – V. 107, N 3. – P. 1136–1146. – DOI: 10.1785/0120160204
3. *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука, 1977. – 506 с.

INFLUENCE OF MODERN GEODYNAMICS ON MUD VOLCANO ACTIVATION

N.E. Tahlatli, G.I. Bakdamirova, T.C. Yusifova
RSCC of ANAS, Baku, Azerbaijan

The analysis of publications on this topic shows the connection between the increased activity of mud volcanoes and seismic events. In this work, the relationship between mud volcano and earthquake tension is studied.

Before strong seismic events, there are changes in the speed ratio of seismic waves (parameter V_P/V_S). The process of formation of cracks in the strong earthquake zone causes a change in the speed ratio of seismic waves (V_P/V_S). It is assumed that during the preparation period of earthquakes, the environment loses its stability, and this is manifested in the increase or decrease of the values of the TAU (V_P/V_S) parameter relative to its average value. The speed ratio of seismic waves is determined by the following formula:

$$\tau = V_P/V_S = (T_S - T_P) / (T_P - T_0) + 1.$$

Anomalous changes, depending on the characteristics of the region where the station is located, are considered values that are 3 times higher than the background level values. The background level for Azerbaijan was determined based on long-term observations ($\tau=1.73$).

A value of $V_P/V_S \leq 1.68$ is associated with tension processes in the environment, and an upper value of $V_P/V_S \geq 1.78$ is associated with compression processes.

The article calculates the relationship between mud volcanoes and earthquake tension. Based on the new method, TAU($\Delta\tau$) parameters were calculated and tension maps were constructed. Based on the data of all seismic stations for the years 2010-2014, it can be seen from the maps of the variation of the $\Delta\tau$ parameter in the field that a tension state is observed against the background of compression and tension-type movements in the Talish mountain system, the Lower Kura depression, and the Shamakhi-Ismailli seismoactive zone. It can be seen from the field variation maps of the $\Delta\tau$ parameter constructed based on the data of all seismic stations for the years 2015-2022 that in the Shamakhi-Ismailli seismoactive zone, in the South Caspian water area, a state of tension is observed against the background of compression and tension-type movements.

REFERENCES

1. *Славина Л.Б., Кузьмина Т.А., Мячкин В.В.* К вопросу о времени и месте возникновения кинематических предвестников сильных землетрясений // Модельные и натурные исследования очагов землетрясений. – М.: Наука, 1991. – С. 71–78.
2. *Славина Л.Б., Етирмишли Г.Д., Абдуллаева Р.Р., Мячкин В.В.* Картирование долгосрочного предвестника TAU (V_P/V_S) для выявления областей повышенной вероятности возникновения сильных землетрясений на территории Азербайджана и Прикаспия // Сейсмопрогностические наблюдения на территории Азербайджана. – Баку, 2012. – С. 386–393.
3. *Aliiev Ad.A., Guliyev I.S., Rakhmanov R.R.* Catalog of eruptions of mud volcanoes in Azerbaijan (2008–2018). – Baku: Elm, 2019. – 132 p.
4. *Mellors R., Kilb D., Aliyev A., Gasanov A., Yetirmishli G.* Correlations between earthquakes and large mud volcano eruptions // Journal of Geophysical Research. – 2007. – 112. – B04304. – DOI: 10.1029/2006JB004489

КОНЦЕПЦИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОДПОЧВЕННЫХ ГАЗОВ В РАЙОНЕ ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

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

По современным данным [1], около 90% эмиссии мантийного углерода обусловлено извержениями вулканов, диффузной дегазацией в районах вулканических построек, срединно-океанических хребтов и вулканических озер. Дополнительный вклад в углеродный след вносят потоки парниковых газов в зонах активных разломов. При этом отмечается неравномерность процессов тектонической дегазации и наличие более активных областей, которые чаще всего ассоциируются с активными геологическими структурами, однако подобные вопросы остаются малоизученными.

Для Камчатки характерно большое количество активных разломов, образующих ряд северо-западного простирания [2], что может влиять на интенсивность эмиссии подпочвенных газов. Поэтому в 2022 г. на базе КФ ФИЦ ЕГС РАН была создана лаборатория исследований дегазации литосферы, целью которой является создание системы мониторинга для получения оценок пространственного и временного варьирования потоков парниковых газов, а также разработка модели дегазации литосферы в районе Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона.

Определение величины площадной дегазации литосферы возможно путем оценки величин эмиссии в локальных зонах и последующей экстраполяции данных на всю исследуемую область. Отслеживание временных вариаций потоков парниковых газов требует установки стационарных пунктов газовых наблюдений и оценки интенсивности геодинамических процессов. На данный момент в исследуемом районе функционируют шесть пунктов газового мониторинга, имеется достаточно плотная сейсмическая сеть и пункты геодинамических наблюдений. Это станет основой для создания модернизированной системы мониторинга подпочвенных газов и методов оценки интенсивности дегазации литосферы, позволит исследовать газовый баланс перехода «литосфера–атмосфера» на выбранном полигоне и оценить вклад этих явлений в парниковый эффект, что откроет возможности для уточнения климатических моделей.

Восточное побережье Камчатки содержит большое количество разномасштабных геологических структур – разломов, вулканов и геотермальных аномалий. Оценка влияния напряженно-деформированного состояния земной коры и сейсмического режима на величину площадной дегазации литосферы позволит получить совершенно новые научные результаты.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания № 075–01271-23.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lee H., Muirhead J., Fischer T., et al.* Massive and prolonged deep carbon emissions associated with continental rifting // *Nature Geoscience*. – 2016. – N 9. – P. 145–149. – DOI: 10.1038/ngeo2622
2. *Кожурин А.И., Пономарева В.В., Пинегина Т.К.* Активная разломная тектоника юга Центральной Камчатки // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2008. – № 2, В. 12. – С. 10–27. – EDN: JVHWUZ

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОСЕЙСМ И СПЕКТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

^{1,2}Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н., ^{1,3}А.Н. Беседина, к.ф.-м.н., ¹П.А. Предеин, к.г.-м.н.

¹ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

²БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ

ИДГ РАН, г. Москва

Представлены результаты исследования спектральных характеристик микросейсмического фона и колебаний грунта от землетрясений по данным сети сейсмостанций, расположенных в центральной части Байкальской рифтовой зоны. На основе вероятностного подхода [1], который широко используется для анализа микросейсм и подробно описан в литературе [2], по записям широкополосных станций построена модель спектра микросейсмического шума для Прибайкалья. Спектральные амплитуды поперечных волн землетрясений рассчитывались с помощью полосовой фильтрации в неперекрывающихся октавных частотных диапазонах. Это позволяет сравнить амплитудно-частотные параметры зарегистрированных сигналов со спектром мощности фоновых микросейсм [3, 4]. Использование аналогичного подхода дает нам возможность изучить изменение спектральных характеристик сейсмических волн с расстоянием от землетрясений разной магнитуды, систематизировать спектральные характеристики колебаний грунта от землетрясений без использования априорных предположений о затухании, влиянии локальных условий и параметрах источника. В целом региональная модель спектра микросейсм и частотно-зависимые оценки уровня амплитуд поперечных волн землетрясений Байкальского рифта имеют важное значение для мониторинга сейсмичности, при исследованиях сейсмических активизаций и индуцированных землетрясений, а также для разработки региональных уравнений прогнозирования движения грунта.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 22-27-20066) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>) [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. *McNamara D.E., Buland R.P.* Ambient noise levels in the continental United States // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2004. – V. 94, N 4. – P. 1517–1527. – DOI: 10.1785/012003001
2. *Besedina A.N., Tubanov Ts.A.* Microseisms as a tool for geophysical research. A review // Journal of Volcanology and Seismology. – 2023. – V. 17. – P. 83–101. – DOI: 10.1134/s0742046323700112
3. *Bormann P.* Conversion and comparability of data presentations on seismic background noise // Journal of Seismology. – 1998. – V. 2. – P. 37–45. – DOI: 10.1023/A:1009780205669
4. *Clinton J.F., Heaton T.H.* Potential advantages of a strong-motion velocity meter over a strong-motion accelerometer // Seismological Research Letters. – 2002. – V. 73 (3). – P. 332–342. – DOI: 10.1785/gssrl.73.3.332
5. *Дягилев Р.А., Сдельникова И.А.* Уникальная научная установка «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13, № 2. – 15. – DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0591. – EDN: VEZKYH

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

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

Решение проблем мониторинга сейсмичности и прогноза сейсмической опасности в значительной степени зависит от качества проведения сейсмологических наблюдений. Качество исходных данных, помимо точности временной привязки и метрологии сейсмометрических каналов, определяется локальными условиями установки сейсмостанций. Факторы, влияющие на микросейсмический фон – уровень антропогенной деятельности, геологические условия и рельеф местности, – различны для всех пунктов наблюдений. Для исследования вариаций спектральных характеристик микросейсм по данным непрерывной регистрации сети сейсмостанций в центральной части Байкальского рифта за 2020–2022 гг. построена вероятностная модель микросейсмического шума.

Использовалось программное обеспечение на основе пакета ObsPy [1], предлагающего набор методов обработки сигналов, часто используемых в сейсмологии. Дополнительно был реализован импорт данных в региональном формате Байкал-5, записываемом одноименной серией регистраторов. Методика обработки заключалась в расчете функции плотности вероятности, позволяющей оценить статистические параметры сигналов в частотной области [2].

В результате был оценен средний уровень шумов на сейсмостанциях и его вариации (суточные и сезонные), особенно значимые на частотах около 1 Гц для пунктов наблюдения, расположенных в непосредственной близости от оз. Байкал. Критериями качества работы станции, с учетом количества и продолжительности пропусков в регистрации, считалось отклонение от рассчитанной модели микросейсмического шума и его сравнение с уровнями глобальной модели [3]. Кроме того, сравнение с вероятностной моделью позволяет оперативно выявлять неисправности аппаратуры при получении данных в режиме, близком к реальному времени.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *Krischer L., Megies T., Barsch R., Beyreuther M., Lecocq T., Caudron C., Wassermann J.* ObsPy: A bridge for seismology into the scientific Python ecosystem // Computational Science & Discovery. – 2015. – V. 8, N 1. – P. 014003. – DOI: 10.1088/1749-4699/8/1/014003
2. *McNamara D.E., Buland R.P.* Ambient noise levels in the continental United States // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2004. – V. 94, N 4. – P. 1517–1527. – DOI: 10.1785/012003001
3. *Peterson J.R.* Observations and modeling of seismic background noise / Open-File Report 93-322. – Reston, VA, USA: US Geological Survey, 1993. – V. 93. – P. 1–95. – DOI: 10.3133/ofr93322

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН *PcP* И *PKiKP* ПОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИЕЙ

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

Сложная система внутреннее–внешнее ядро Земли определяет большое количество глобальных геофизических процессов. Ключевым процессом в этой системе является затвердевание внутреннего ядра на границе с жидким внешним, которое сопровождается высвобождением тепла и легких элементов. Выделение скрытого тепла вместе с композиционной плавучестью, возникающей в результате обогащения внешнего ядра легкими элементами, обеспечивает движущие силы для потока жидкости во внешнем ядре, ответственного за геодинамику и, следовательно, за магнитное поле Земли. Тепло, выделяющееся из внешнего ядра, стимулирует мантийную конвекцию, которая, в свою очередь, приводит к таким динамическим особенностям как вулканизм и тектоника плит, в частности, в районе Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. В настоящее время ряд исследований предполагает возможность дифференциального вращения внутреннего ядра, что может быть важно для объяснения других геофизических процессов, которые ранее не были связаны с ядром. Например, распределение сейсмичности вблизи критических широт – области, где знак деформаций, вызванных вращением Земли, меняется на противоположный [1].

Здесь мы обращаемся к исследованиям структурных особенностей внутреннего ядра на основе свойств волн *PcP*, отраженных от поверхности внешнего ядра, и волн *PKiKP*, отраженных от поверхности внутреннего ядра, для сопоставления с тектоническими особенностями Центральной Азии.

В качестве исходных данных использованы сейсмограммы Памиро-Гиндукушских глубокофокусных землетрясений, зарегистрированных на сейсмических станциях России, Казахстана, Киргизии, Китая, Израиля и Турции. Следует отметить, что обнаружение этих волн, маскируемых кодой предшествующих вступлений, требует применения методов фильтрации как во временной области (отдельные станции), так и в пространственно-временной области (станции группирования). Наш набор данных включает ~100 пар *PcP*- и *PKiKP*-волн, зарегистрированных на расстояниях от 5 до 50°. Измерены амплитудные отношения (АО) *PKiKP/PcP*, частотный состав и невязки времен пробега волн относительно стандартной скоростной модели Земли *ak135*. Для северного направления характерно высокое АО, которое невозможно объяснить полностью скачком плотности на границе внешнее–внутреннее ядро, в северо-восточном направлении АО согласуется с *ak135* со скачком плотности на границе 0.3–1.8 г/см³, в восточном направлении присутствует кластеризация на зоны повышенного АО и стандартного. В западном направлении АО волн близко к стандартному. Оценены размеры областей с разными динамическими характеристиками. Выполнено сравнение с характеристиками областей внешнего и внутреннего ядра, проецируемых на территорию Дальнего Востока.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 122040400015-5).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Левин Б.В.** Роль движений внутреннего ядра Земли в тектонических процессах // Фундаментальные проблемы общей тектоники. – М.: Научный мир, 2001. – С. 444–460.

КОРРЕКЦИЯ КООРДИНАТ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ДОБРОТНОСТИ ДЛЯ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ РФ

О.А. Усольцева, к.ф.-м.н., И.А. Санина, д.ф.-м.н.
ИДГ РАН, г. Москва

Для повышения точности локации сейсмических событий, произошедших в 2021–2022 гг., были использованы записи землетрясений, зарегистрированные постоянной сейсмической сетью Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН, вновь установленными станциями NIK и VTUL ИДГ РАН и станциями KU6 и VRF финской сети HE. Коррекция координат сейсмических событий обеспечивалась за счет использования дополнительных, по сравнению с автоматической обработкой, сейсмических станций, а также за счет использования программы *Velest* [1], позволяющей одновременно корректировать координаты сейсмических событий и подбирать скоростную модель, и программы *hypoDD* [2], реализующей метод двойных разностей при локации.

Расчет добротности по большому массиву сейсмологических данных (более 100 событий) для верхней и средней коры проводился на основе исследования кода-волн с использованием программы *codaq*, пакет *SEISAN* [3]. Преимущество этого метода заключается в том, что для получения добротности среды возможно использование одной станции, и при этом не требуется учитывать станционные поправки. Анализ выполнялся как по горизонтальным, так и по вертикальным компонентам для частот 1, 2, 4, 8 и 16 Гц и длительности окна кода-волн 20 и 30 секунд. Получены значения добротности вдоль трасс длиной до 90 км относительно станций APA0, LVZ, NIK и VRF.

Также оценка добротности в коре проводилась с помощью метода спектральной инверсии. Для полноты исследования при определении добротности привлечены данные сейсмологического эксперимента POLENET/LAPNET (2007–2009 гг.).

Представленные расчеты демонстрируют связь районов с повышенным затуханием сейсмических волн и геологическим строением земной коры северо-восточной части Фенноскандинавского щита.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 21-17-00161), частично – при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 122040400015-5).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kissling E., Ellsworth W.L., Eberhart-Phillips D., Kradolfer U.* Initial reference models in local earthquake tomography // *Journal of Geophysical Research.* – 1994. – V. 99. – P. 19635–19646. – DOI: 10.1029/93JB03138
2. *Waldhauser F., Ellsworth W.L.* A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault // *Bulletin of the Seismological Society of America.* – 2000. – V. 90, N 6. – P. 1353–1368. – DOI: 10.1785/0120000006
3. *Havskov J., Ottemöller L.* SEISAN earthquake analysis software // *Seismological Research Letters.* – 1999. – V. 70. – P. 532–534. – DOI:10.1785/GSSRL.70.5.532

НАБЛЮДЕНИЯ АКТИВИЗАЦИИ ЛЕДНИКА БЛОМСТРАНД НА СЕВЕРЕ О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН ПО ДАННЫМ ОДИНОЧНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

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

С 2016 г. в Кольском филиале (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН для непрерывного мониторинга сейсмичности в западном секторе Европейской Арктической зоны РФ применяется автоматизированный программный комплекс обнаружения и локации сейсмических событий NSDL [1]. Этот комплекс объединяет данные 19 сейсмических станций международной сети, расположенных в Северной Норвегии, на Кольском п-ове и архипелаге Шпицберген. Обработка данных осуществляется в режиме, близком к реальному времени, на сервере информационно-обрабатывающего центра КоФ ФИЦ ЕГС РАН, расположенного в г. Апатиты. Сейсмические станции, расположенные на архипелаге Шпицберген, анализируются отдельно в специально выделенной подсистеме комплекса NSDL [2]. В состав комплекса NSDL входит программа детектирования и локации сейсмических событий по данным одиночной сейсмической станции NSS [3].

В конце 2019 г. описанной автоматизированной системой сейсмологического мониторинга в северо-западной части о. Западный Шпицберген была зафиксирована активизация слабой сейсмичности. Интенсивность сейсмического процесса достигала нескольких сотен событий в сутки, чем привлекла внимание авторов. Предварительный анализ записей сейсмических событий визуально выявил высокую степень подобия их волновых форм. Для получения максимально полного каталога и соответственно пространственно-временного представления о развитии данного сейсмического процесса был применен метод кросскорреляционного детектирования. Полученный таким образом итоговый каталог включил в себя более 6000 сейсмических событий в диапазоне магнитуд (ML) 0.2–0.5. Локализация эпицентров показала их приуроченности к зоне абляции ледника Бломстранд. Анализ полученного каталога выявил следующие закономерности: амплитуда сейсмических событий возрастала со временем, характер последовательности имел квазипериодический вид – временные периоды между событиями в большинстве случаев были близки к 350 с, последовательность резко началась и также резко завершилась. Сопоставление полученных результатов с космоснимками, полученными исследовательским спутником Santinel-2 в радиочастотном диапазоне, показало связь рассматриваемой сейсмической последовательности с масштабной подвижкой терминальной части ледника, сопровождаемой массовыми выбросами в залив ледового материала.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров А.В., Асминг В.Э., Евтюгина З.А., Прокудина А.В. Система автоматического мониторинга сейсмичности Европейской Арктики // Сейсмические приборы. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 29–39. – DOI: 10.21455/si2018.1-3. – EDN: YUOLJG
2. Асминг В.Э., Федоров А.В., Аленичева А.О., Евтюгина З.А. Применение системы автоматической локации NSDL для детального изучения сейсмичности архипелага Шпицберген // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 10, № 3. – С. 120–131. – EDN: YUITVZ
3. Асминг В.Э., Федоров А.В. Возможности применения автоматического детектора-локатора сейсмических событий по одиночной станции для детальных сейсмологических наблюдений // Сейсмические приборы. – 2014. – Т. 50, № 3. – С. 19–29. – EDN: SLRRSN

ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АЛЯСКИ 2020–2021 ГГ.

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

¹ИТПЗ РАН, г. Москва

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

³ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

Рассмотрены три сильных землетрясения, произошедшие на Аляске в 2020–2021 гг.: 22 июля 2020 г. ($M_w=7.8$), 19 октября 2020 г. ($M_w=7.6$) и 29 июля 2021 г. ($M_w=8.2$). Для каждого из исследуемых сейсмических событий с помощью метода спектрально-временного анализа [1] были отфильтрованы записи волн Релея и Лява на периодах до 250 с и получены их амплитудные спектры. Очаговые параметры землетрясений рассчитывались по полученным спектрам в двух приближениях: мгновенного точечного источника [2] и плоской подвижки [3]. В приближении плоской подвижки вычисления выполнялись для обеих нодальных плоскостей фокальных механизмов, полученных в приближении мгновенного точечного источника, с целью возможной идентификации плоскости разрыва [4].

В результате для каждого землетрясения были получены оценки скалярного сейсмического момента, моментной магнитуды, фокального механизма и глубины очага, а также проведен анализ интегральных параметров очагов, характеризующих геометрию разрыва и его развитие во времени (продолжительность процесса в очаге, длина большой и малой осей эллипса источника, средняя скорость мгновенного центроида, угол между большой осью источника и осью простирания, угол между скоростью мгновенного центроида и осью простирания). Результаты расчетов сопоставлены с информацией, опубликованной в различных сейсмологических агентствах и специальных исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левшин А.Л., Яновская Т.Б., Ландер А.В., Букчин Б.Г., Бармин М.П., Ратникова Л.И., Итс Е.Н. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. – М.: Наука, 1986. – 278 с.
2. Букчин Б.Г. Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1989. – № 9. – С. 34–41.
3. Bukchin B. Determination of stress glut moments of total degree 2 from teleseismic surface wave amplitude spectra // Tectonophysics. – 1995. – V. 248, N 3-4. – P. 185–191. – DOI: 10.1016/0040-1951(94)00271-A. – EDN: XOMHPT
4. Букчин Б.Г. Описание очага землетрясения в приближении вторых моментов и идентификация плоскости разлома // Физика Земли. – 2017. – № 2. – С. 76–83. – DOI: 10.7868/S0002333717020041. – EDN: YIUVIX

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОЧАГА ИЛИН-ТАССКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2013 Г. ПО ЗАПИСЯМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

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

¹ИТПЗ РАН, г. Москва

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

³ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

Проведено исследование Илин-Тасского землетрясения ($M_w=6.7$), произошедшего 14 февраля 2013 г. на северо-восточном фланге Яно-Индигирского сегмента сейсмостектонической зоны Черского. Для рассматриваемого сейсмического события была проведена оценка очаговых параметров в приближениях мгновенного точечного источника и плоской подвижки.

В качестве исходных данных для оценки использовались записи волн Релея и Лява на удаленных широкополосных сейсмических станциях сетей П, IU, IC и DK (коды сетей соответствуют международному стандарту FDSN). Для анализа отбирались только волновые формы с высоким отношением сигнал/шум и нормальной поляризацией поверхностных волн на станциях, расположенных в разных азимутах от эпицентра исследуемого землетрясения. Амплитудные спектры волн Релея и Лява были отфильтрованы с помощью метода спектрально-временного анализа [1] в диапазоне периодов 50–120 с.

В приближении мгновенного точечного источника были получены пять параметров: глубина, сейсмический момент и фокальный механизм, определяемый тремя углами (простираения, падения и подвижки) [2]. Было показано, что очаг исследуемого события сформировался под влиянием доминирующего сжатия юго-западной ориентации и был локализован в верхней части коры.

При рассмотрении очага в предположении плоского источника были проанализированы следующие шесть интегральных параметров: продолжительность процесса в очаге, длины большой и малой осей источника, скорость мгновенного центроида, угол между большой осью источника и осью простираения, угол между направлением движения мгновенного центроида и осью простираения [3].

Качество полученных величин оценивалось с помощью функции нормированной невязки. Данная функция характеризует отличие теоретических амплитудных спектров от наблюдаемых.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 21-77-10070).

ЛИТЕРАТУРА

1. Левшин А.Л., Яновская Т.Б., Ландер А.В., Букчин Б.Г., Бармин М.П., Ратникова Л.И., Итс Е.Н. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. – М.: Наука, 1986. – 278 с.
2. Букчин Б.Г. Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1989. – № 9. – С. 34–41.
3. Букчин Б.Г. Описание очага землетрясения в приближении вторых моментов и идентификация плоскости разлома // Физика Земли. – 2017. – № 2. – С. 76–83. – DOI: 10.7868/S0002333717020041. – EDN: YIUVIX

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗЛОМАХ ВБЛИЗИ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ УЗБЕКИСТАНА

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

Определение плотности распределения очагов землетрясений в разломах земной коры, расположенных вблизи крупных водохранилищ Узбекистана, необходимо для оценки изменения локальной сейсмической активности. Основным аспектом вопроса о локальной сейсмичности в районах исследуемых водохранилищ является выявление сейсмичности, вызванной ими. Она может формироваться из-за интенсивной эксплуатации водохранилища, то есть из-за быстрых изменений объема воды за короткие промежутки времени. В работе определены повторяемость землетрясений произведено предварительным составлением локального каталога землетрясений (включая слабые) для зоны влияния резервуаров [1]. Оценка уровня повторяемости произведена за период с 2011 по 2022 г. кластеризацией зон высокой плотности эпицентров и используя закон повторяемости Гутенберга-Рихтера [2]. Объектом исследований являются зоны деформационного влияния крупных водохранилищ Узбекистана. Проведены исследования по выборке из общих каталогов разных сейсмологических служб локальных землетрясений для ближних зон крупных действующих водохранилищ. Произведен анализ плотности распределения локальных землетрясений вокруг разломов. В выделенных разломах рассчитано снятие напряжений, возникающих при эксплуатации объектов, при землетрясениях. Численными экспериментами оценены возможные техногенные напряжения выбранных активных тектонических разломов земной коры, расположенных в ближней зоне крупных объектов.

Сформированы выборки каталогов локальных землетрясений, происходящих в разломах вокруг Пачкамарского и Чимкурганского водохранилищ. Произведен анализ численных решений моделей для расчета напряжений и деформаций под действием техногенных факторов. Представлены результаты исследований локальной плотности землетрясений вокруг разломов в зоне воздействия водохранилищ на юге Узбекистана.

Составлены также каталоги локальных землетрясений в разломах в зоне влияния Джизакского и Зааминского водохранилищ. Произведены расчеты величины сброса напряжений в случае местных землетрясений вокруг разломов в зоне воздействия водохранилищ Южного Узбекистана. Представлены результаты проведенных численных экспериментов по расчету избыточных напряжений, возникающих в тектонических разломах в земной коре в зонах влияния Гиссаракского и Туполангского резервуаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Анварова С.Г., Иброгимов Ф.И. Инструментальные сейсмические наблюдения в зонах крупных водохранилищ Узбекистана // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 3. – С. 52–67. – DOI: 10.35540/2686-7907.2022.3.05. – EDN: PLBKXN
2. Хамидов Л.А., Ганиева Б.Р., Анварова С.Г. Возможные квазистатические смещения зон влияния нескольких водохранилищ Южного Узбекистана // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 97. – EDN: JLEMKE

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ПЛОТИН И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

Х.Л. Хамидов, д.фил.т.н., Ф.И. Иброгимов, Н.М. Мухаммадкулов
ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Создана база данных для обработки сейсмометрических данных по водохранилищам Андижан, Ахангаран, Каркидон, Джиззак, Сардоба, Туполанг, и рассмотрены возможности организации этих исследований в зоне Южно-Сурханского резервуара. В единую систему были укомплектованы сейсмометрические записи на плотинах и береговых склонах указанных водохранилищ, что позволило систематизировать сейсмометрические записи в зависимости от расположения объектов. Реализуя методологию определения частот колебаний в плотинах Гиссаракского, Пачкамарского, Ахангаранского, Каркидонского, Джиззакского и Сардобинского водохранилищ, произведена оценка естественных частот колебаний и рассмотрены возможности определения уровня жесткости участков плотин и береговых склонов этих водохранилищ [1, 2]. В результате выполнения работ по формированию пакетов сейсмических волн от землетрясений разной силы, разного расстояния и разного азимута для плотин Ахангаранского, Каркидонского, Пачкамарского, Джиззакского, Сардобинского водохранилищ и подготовив основу данных для плотины Талимарджанского водохранилища, произведены расчеты для оценки изменения параметров HVSR, по которым можно выделить гармоники колебаний, близкие к резонансным. Предварительным анализом выявлено, что наклонное сейсмическое воздействие увеличивает коэффициент усиления амплитуды колебаний плотин Ахангаранского, Каркидонского, Пачкамарского водохранилищ. Максимум относительного смещения вверх–вниз в них уменьшался при увеличении угла падения P -волны, в то время как относительное смещение увеличивалось с увеличением угла падения S -волны. Это может говорить о том, что максимальные главные напряжения в узловых точках плотин сначала возрастали, а затем уменьшались с увеличением угла падения продольных P -волн, и постепенно уменьшались с увеличением угла падения поперечных S -волн [2]. Выявлено, что стабильность регистрации сейсмических волн в среде постоянного сейсмического мониторинга может позволить отслеживать сейсмическую нагрузку на резервуар, что важно для контроля кинематических показателей колебания. Созданием базы данных для обработки сейсмометрических данных для ряда водохранилищ Узбекистана и разработкой методики непрерывного определения частот колебаний на плотинах и береговых откосах сформированы пакеты с записями сейсмических волн от сейсмической нагрузки разной силы, разного расстояния и разного азимута с обеспечением стабильности данных сейсмического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mahdizadeh M., Ghanbari A.* Calculation of natural frequency of earth dams by means of analytical solution // Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. – Chicago, 2013. – Paper No. 3.13a. – URL: <https://scholarsmine.mst.edu/icchge/7icchge/session03/6>
2. *Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Анварова С.Г., Иброгимов Ф.И.* Инструментальные сейсмические наблюдения в зонах крупных водохранилищ Узбекистана // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 3. – С. 52–67. – DOI: 10.35540/2686-7907.2022.3.05. – EDN: PLBKXN

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ

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

Камчатка обладает одной из самых развитых систем наблюдений в России. Тем не менее, конфигурация сети пунктов наблюдений имеет ряд недостатков, которые возможно преодолеть только в случае увеличения количества станций. К сожалению, уже долгие годы возможности по увеличению пунктов сейсмического мониторинга ограничены и позволяют в лучшем случае открыть один пункт в год. 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 и обеспечение устойчивости сети. 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. Модернизированы традиционные методики обработки, а кроме того, развиваются новые. В частности, проводится локация вулканических треморов для групп вулканов, которые позволяют следить за миграциями достаточно сильных треморов в Северной группе вулканов и, потенциально, – в Авачинской. Детектирование и мониторинг пепловых выбросов дополнительно опирается на автоматизированные средства обработки данных инфразвуковых наблюдений.

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.

Камчатская система наблюдений успешно обеспечивает сейсмический мониторинг Камчатки и прилегающих территорий, включая локальный мониторинг действующих вулканов [1]. В апреле 2023 г. система прошла очередной «стресс-тест». Последовательно произошли сильное землетрясение с $M_w=6.5$, умеренное извержение вулкана Безымянного и сильное извержение вулкана Шивелуч. Слаженная работа коллектива Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН внесла существенный вклад при выработке решений Правительством Камчатского края и ГУ МЧС по Камчатскому краю по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и комплекса мер реагирования.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сеников С.Л., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В., Яцук В.В. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 18–40. – DOI: 10.7868/S0203030613010021. – EDN: PUASZB

ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ КФ ФИЦ ЕГС РАН В 2023 Г.

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

Единая информационная система сейсмологических данных (ЕИССД) Камчатского филиала (КФ) ФИЦ ЕГС РАН разрабатывается с 2010 года. В течение 2010–2020 гг. был создан фундамент системы в виде базы данных и семи подсистем [1]. Это позволило с 2020 г. сконцентрировать усилия на разработке современных интерфейсов доступа к сейсмологическим данным. Был разработан веб-сервис "SDIS FDSNWS" и произведено существенное обновление интерактивной карты землетрясений.

Веб-сервис "SDIS FDSNWS" представляет собой программный интерфейс доступа к данным землетрясений и пунктов наблюдений, хранящихся в ЕИССД, и работает через протокол HTTP. Сервис реализован с учетом спецификаций доступа к данным Международной федерации цифровых сейсмографических сетей (The International Federation of Digital Seismograph Networks, FDSN). Это позволяет использовать ЕИССД в качестве источника данных в библиотеке ObsPy. В 2021 г. КФ ФИЦ ЕГС РАН зарегистрирован в реестре центров данных FDSNWS (<https://www.fdsn.org/datacenters/detail/KAGSR/>).

Интерактивная карта землетрясений (<https://sdis.emsd.ru/map/>) была разработана и впервые представлена в 2018 году. В 2018–2020 гг. были выявлены недостатки карты, основными из которых являлись отсутствие адаптивного дизайна для мобильных устройств и ошутимое замедление интерфейса при выводе большого количества землетрясений. В 2021 г. интерфейс карты был обновлен, а в период 2021–2023 гг. она получила ряд улучшений: отображение маркеров землетрясений с помощью технологии WebGL, позволившее выводить на карту большое количество данных без существенных задержек в работе интерфейса; динамический размер маркеров землетрясений в зависимости от видимых минимального и максимального значений магнитуды; отображение пунктов наблюдений (сейсмических станций) КФ ФИЦ ЕГС РАН [2] на отдельном слое; отображение слоя с активными разломами п-ова Камчатка и прилегающих территорий (на основе базы данных активных разломов Евразии [3]).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чеброва А.Ю., Чемарёв А.С., Матвеевко Е.А., Чебров Д.В.** Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 66–91. – DOI: 10.21455/gr2020.3-5. – EDN: QQHRZU
2. **Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сеников С.Л., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В., Яшук В.В.** Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 18–40. – DOI: 10.7868/S0203030613010021. – EDN: PUASZB
3. **Zelenin E.A., Bachmanov D.M., Garipova S.T., Trifonov V.G., Kozhurin A.I.** The active faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset // Earth System Science Data. – 2022. – V. 14. – P. 4489–4503. – DOI:10.5194/essd-14-4489-2022

О СПОСОБЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА ТЕХНОГЕННОЙ ПОМЕХИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ СЕВЕРО-ОСЕТИНСКОГО ФИЛИАЛА ФИЦ ЕГС РАН

¹Т.В. Чивиева, ²П.В. Громыко, ²В.С. Селезнев, д.г.-м.н.
¹СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ
²СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Данная работа посвящена развитию разрабатываемых в ФИЦ ЕГС РАН методов мониторинга источников техногенного сигнала и основана на результатах исследований, проведенных на крупных промышленных сооружениях [1].

Известно, что при функционировании сейсмических сетей существует проблема отслеживания и изучения природы источников, формирующих на сейсмических записях микросейсмический фон, рассматриваемый, в первую очередь, как помеха [2, 3]. Как правило, присутствующий в записях фон осложняет интерпретацию сейсмических событий. Так, при анализе сейсмических данных со стационарных станций сети Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН, на записях наблюдались низкочастотные наводки. В результате спектрального анализа данных определены их основные характеристики – наводки имеют вид монохроматических колебаний с частотами порядка 1.5 Гц, источником которых является работа удаленного оборудования.

Для локализации и идентификации источника помех был применен подход векторного анализа. Для этого на начальном этапе из трасс записей стационарных станций с присутствующей помехой были построены графики выделенных колебаний на частотах порядка 1.5 Гц, после чего по полученным амплитудным значениям строились векторы в направлении распространения волн, по пересечениям которых предполагается локализовать источник помех. В работе показан опыт применения данного способа.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Громыко П.В., Кречетов Д.В.* О мониторинге состояния крупных промышленных объектов на основе данных сейсмологических наблюдений (на примере Саяно-Шушенской ГЭС) // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Пятой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 27 сентября – 3 октября 2015 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 226–230. – EDN: VPYFGN
2. *Капустян Н.К., Юдахин Ф.Н.* Сейсмические исследования техногенных воздействий на земную кору и их последствий. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 415 с.
3. *Французова В.И.* Анализ техногенных квазигармонических сигналов на записях сейсмических станций // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 349–354. – EDN: SWNMIB

ВАРИАЦИИ НАКЛОНА ГРАФИКА ПОВТОРЯЕМОСТИ В ЗОНЕ СУБДУКЦИИ ТОНГА В 2005–2022 ГГ.

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

Зона субдукции Тонга-Кермадек расположена между Тихоокеанской и Австралийской плитами и является местом самых высоких скоростей погружения Тихоокеанской плиты и ее доминирующего растяжения [1]. Северный край этой зоны – зона субдукции Тонга – характеризуется разрывом Тихоокеанской плиты [2], в 2006 и 2009 гг. в этом регионе произошли два сильнейших землетрясения с магнитудой $M=8.0-8.1$. Сильным землетрясениям может предшествовать изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды в течение некоторого времени [3]. Изменение напряжений может быть выражено в наклоне функции распределения магнитуд регистрируемых землетрясений (значение b) [4, 5]. Изменение значения b с глубиной отражает изменение физических свойств внутри погружающейся плиты [6]. Также к зоне субдукции Тонга приурочено около 170 островов, представляющих собой вулканические центры, регулярно извергающиеся в течение последних нескольких десятилетий [7]. С 2006 по 2022 г. известно о десяти извержениях вулканов в этом районе, в частности, вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай в 2022 г. с индексом вулканической активности $VEI=5$. В связи с высокой сейсмической и вулканической активностью региона представляется актуальным оценить перспективы использования вариаций значения b в качестве предвестника таких событий. В работе представлены результаты анализа временных вариаций значения b в зоне субдукции Тонга за 2005–2022 г., подтверждающие их информативность при прогнозе сильных землетрясений, и вариаций b в зависимости от глубины.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bevis M., Taylor F.W., Schutz B.E., Reay J., Isacks B.L., Helu S., Singh R., Kendrick E., Stowell J., Taylor B., Calmantli S.* Geodetic observations of very rapid convergence and back-arc extension at the Tonga arc // *Nature*. – 1995. – V. 374. – P. 249–251. – DOI: 10.1038/374249a0
2. *Bonnardot M.A., Régnier M., Ruellan E., Christova C., Trict E.* Seismicity and state of stress within the overriding plate of the Tonga-Kermadec subduction zone // *Tectonics*. – 2007. – V. 26, N 5. – P. 1–15. – DOI: 10.1029/2006TC002044
3. *El-Isa Z.H., Eaton D.W.* Spatiotemporal variations in the b -value of earthquake magnitude–frequency distributions: Classification and causes // *Tectonophysics*. – 2014. – V. 615–616. – P. 1–11. – DOI: 10.1016/j.tecto.2013.12.001
4. *Завьялов А.Д.* Наклоны графика повторяемости как предвестник сильных землетрясений на Камчатке // *Прогноз землетрясений*. Вып. 5. – Душанбе–Москва: Дониш, 1984. – С. 173–184.
5. *Mogu K.* Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1988. – 382 с.
6. *Enescu B., Enescu D., Ito K.* Values of b and p : Their variations and relation to physical processes for earthquakes in Japan and Romania // *Romanian Journal of Physics*. – 2011. – V. 56, N 3–4. – P. 590–608.
7. *Kusky T.M.* Déjà vu: Might future eruptions of Hunga Tonga-Hunga Ha’apai volcano be a repeat of the devastating eruption of Santorini, Greece (1650 BC)? // *Journal of Earth Science*. – 2022. Pre-print. – DOI: 10.1007/s12583-022-1624-2

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИИ ТАДЖИКИСТАНА

У.А. Шарифов, Р.У. Джураев, к.г.-м.н.
ИГССС НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан

Таджикистан является одним из наиболее сейсмически активных регионов Центральной Азии. На ее территории каждые 5–10 лет, а иногда и чаще, происходит одно или два сильных сейсмических события, которые в той или иной степени наносят ущерб народному хозяйству и населению Республики Таджикистан [1]. Сейсмическая безопасность зданий и сооружений, а также эксплуатация существующих, строящихся и проектируемых крупных гидротехнических сооружений в условиях сложного рельефа и геолого-тектонического строения региона, которые постоянно подвергаются сейсмическим воздействиям, требуют постоянного сейсмического мониторинга. В настоящее время непрерывные сейсмологические наблюдения на территории Таджикистана проводят две сейсмологические сети.

Сейсмологическая сеть современных цифровых станций Геофизической службы НАН Таджикистана проводит сейсмический мониторинг Таджикистана на региональном уровне. Эта сеть ежегодно регистрирует от 3500 до 7500 сейсмических событий с $K=5–15$. Кроме этого, функционирует локальная сеть цифровых сейсмических станций ОАО «Рогунская ГЭС», основной задачей которой является обеспечение сейсмического мониторинга района строительства Рогунской ГЭС и ее водохранилища. При определении геолокации ощутимых и сильных подземных толчков используются также данные международной сети сейсмических станций.

Из-за различных программ и годографов параметры (главным образом координаты эпицентра и глубина очага) этих сейсмических событий, определенные разными сейсмологическими агентствами, не всегда совпадают. Это наблюдается при сравнении параметров 7-балльных землетрясений, произошедших 10.07.2021 г. в Таджикабадском районе и 22.03.2023 г. в Мастчинском районе. Координаты эпицентра определены достаточно близко друг от друга, а значение глубины очага отличается (от 10 до 33 км).

Система сейсмического мониторинга должна обеспечивать получение детальных сейсмологических и геофизических данных [2]. Она должна регистрировать землетрясения с $M \geq 0.2$ с достаточно высокой точностью определения координат и глубин очагов, что необходимо главным образом для оценки сейсмического режима районов строительства и эксплуатации крупных сооружений, включая гидротехнические, расположенные в сложных геотектонических зонах. Без использования местных годографов этой цели добиться сложно. На наш взгляд, прежде всего должна быть использована единая программа (к примеру, SeisComP) для определения параметров сейсмических событий в системах сейсмического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Джураев Р.У.* Макросейсмический эффект сильных землетрясений Таджикистана за период с 2015 по 2020 г. ($I_0 \geq 5$ баллов) и вопросы уменьшения сейсмического риска // Совершенствование методов оценки и снижения сейсмического риска: Материалы Международной научно-практической конференции. – Душанбе, 2019. – С. 42–64.
2. *Негматуллаев С.Х., Джураев Р.У., Улубиева Т.Р.* Обеспечение сейсмического мониторинга землетрясений Таджикистана цифровыми широкополосными станциями // Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: Тезисы докладов VII Международной конференции. – Курчатов: НЯЦ РК, 2014.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ШАХТНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

^{1,2}Д.Ю. Шулаков, к.т.н., ^{1,2}А.С. Мурыськин

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

²«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Системы сейсмологического мониторинга на территории Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) действуют уже более 25 лет, но все датчики, входящие в состав сетей режимного мониторинга, располагались в горных выработках действующих рудников [1]. Это обеспечивает высокое качество регистрации целевых сигналов, но при этом, в силу особенностей геологии месторождения, все датчики располагаются практически в одной плоскости, что сильно снижает точность определения вертикальной координаты очагов сейсмических событий. Кроме того, работоспособность системы сейсмического мониторинга полностью зависит от инфраструктуры рудника, и в случае возникновения аварийной ситуации возможно ее полное отключение.

В 2022 г. были начаты работы по модернизации системы сейсмического мониторинга, первым этапом которых была установка девяти поверхностных сейсмопавильонов (в дополнение к семи шахтным) на территории рудника СКРУ-1. Каждый из них является полностью автономным и передает данные непосредственно в информационно-обрабатывающий центр. Поскольку практически на всей территории горного отвода ведется интенсивная хозяйственная деятельность, данные сейсмопавильоны характеризуются высоким уровнем фоновых микросейсм. Частично их удалось снизить за счет установки датчиков в скважины глубиной 10 м. Сравнение с сейсмограммами, полученными возле устья скважины, показало, что заглупление датчиков позволило существенно (в разы) снизить амплитуду микросейсм с частотами свыше 15 Гц. Более низкочастотные помехи подавляются при помощи цифровой фильтрации на стадии детектирования полезных сигналов. Для каждого из сейсмопавильонов был подобран свой оптимальный цифровой фильтр, обеспечивающий максимизацию отношения «сигнал/помеха».

Анализ сейсмограмм сейсмических событий и технологических взрывов показал, что в целом поверхностные сейсмопавильоны обеспечивают приемлемое качество регистрации сейсмических сигналов, хотя оно существенно уступает шахтным датчикам. В то же время, за счет значительного увеличения плотности сети и распределения датчиков по вертикали существенно повысилась чувствительность мониторинговой системы и точность определения координат гипоцентров. Для определения фактических регистрационных возможностей новой системы была адаптирована методика, разработанная ранее для мониторинга ГРП [2]. При расчете использовались фактические спектры фоновых микросейсмических шумов и модельные сейсмические сигналы. В результате было установлено, что для большей части шахтного поля минимальная представительно регистрируемая энергия сейсмических сигналов снизилась в 2–5 раз, что позволило значительно повысить информативность данных мониторинга.

Работа включает результаты, полученные при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шулаков Д.Ю., Бутырин П.Г., Верхоланцев А.В. Сейсмологический мониторинг Верхнекамского месторождения: задачи, проблемы, решения // Горный журнал. – 2018. – № 6. – С. 25–29. – DOI: 10.17580/gzh.2018.06.05. – EDN: UTEFRY
2. Muriskin A., Shulakov D. Evaluation of registration capabilities of microseismic monitoring network of hydraulic fracturing in various frequency ranges // Tyumen 2019: 6th Conference. – Tyumen: European Association of Geoscientists & Engineers, 2019. – P. 1–5. – DOI: 10.3997/2214-4609.201900609

РАЗДЕЛ «ИССЛЕДОВАНИЯ В СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЯХ НАУКИ»

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ ТУРБУЛЕНТНОСТИ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ И ПЕРЕМЕН. НОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ?

^{1,2}Н.К. Гайдай, к.г.-м.н.

¹ФГБОУ ВО «СВГУ», г. Магадан

²СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

Скорости изменений в современном мире высоки. В особенности это касается технологий. Отрасли нужны специалисты, не только владеющие профессиональными знаниями, но и умеющие спокойно реагировать на турбулентности (резкие изменения в используемых технологиях, необходимость поиска замещения текущих процессов), умеющие работать в команде (реализация объемных проектов в короткие сроки), способные к аналитике и прогнозированию в условиях неопределенности. В образовательных программах инженерных направлений практически отсутствуют дисциплины, связанные с развитием надпрофессиональных навыков, в то время как их уровень оценивается для претендентов на должности почти всеми крупными компаниями.

В марте 2021 г. по поручению Президента РФ был запущен пилотный проект по оценке универсальных управленческих компетенций обучающихся по образовательным программам высшего образования. По результатам его реализации к 1 сентября 2023 г. должны быть представлены предложения о целесообразности включения информации об оценке этих компетенций в документы о высшем образовании и о квалификации. В рамках проекта экспертами была разработана методика оценки компетенций, которая использует четыре основных блока: управление взаимодействием, управление задачами, энергия и общие знания [1].

Какие же навыки, кроме профессиональных, сегодня больше интересуют руководителей наших отраслей? Очевидно, что ответ определяется спецификой отрасли и конкретной должностью. В апреле 2023 г. мы провели опрос представителей компаний, работающих в области геофизики и геологии. Он показал, что из блока «Взаимодействия» наиболее востребованы компетенции «Партнерство/сотрудничество» и «Лидерство», из блока «Задач» – «Анализ информации, выработка решений» и «Стратегическое мышление». В блоке «Энергия» важны все качества, больше – «Саморазвитие» и «Ориентация на результат», по грамотности – в равной степени цифровая и коммуникативная.

Оценка компетенций студентов выпускного курса Политехнического института СВГУ показала, что навык «Партнерство/сотрудничество» высокий у 30% выпускников (у остальных – средний), а «Лидерство» – высокий только у 12% (у 37% – низкий). Анализом информации 90% владеют на среднем уровне (но низкого показателя здесь нет). Саморазвитие – у всех на среднем уровне. Ориентация на результат – у 72% средняя, а у 18% – низкая. Коммуникативная грамотность – у всех на среднем уровне.

Результаты показывают необходимость дополнительной работы со студентами по развитию надпрофессиональных навыков, что возможно как при реализации основных программ (включением дополнительных дисциплин), так и проведением тренингов и мастер-классов для студентов вне образовательной программы.

Можно ли назвать эти способности новыми компетенциями? Скорее нет, такие качества сотрудников приветствовались во все времена. Актуальная задача для университетов – способствовать увеличению количества высокопотенциальных работников.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Центр компетенций* [Электронный ресурс]. – URL: <https://rsv.ru/competitions/internship/1/198/>, свободный. – Загл. с экрана.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЙОНЕ И НА ПЛОЩАДКЕ АС ПРИ ОБОСНОВАНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

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

В России на основе 18-летнего применения и с учетом последних достижений науки и техники были уточнены требования к размещению атомной станции (АС) [1], в т.ч. были уточнены требования к определению и обоснованию характеристик тектонической активности. Согласно [1], по данным инженерных изысканий и исследований, в проекте АС для района размещения АС должны быть определены и обоснованы следующие характеристики тектонической активности с учетом положения относительно площадки АС: положение разрывов, зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ), активных разломов, амплитуда и направленность смещений, время последней активизации.

Задачи определения и обоснования указанных выше характеристик тектонической активности в районе и на площадке АС могут быть выполнены рациональным комплексом геофизических и инженерно-геологических исследований. Вариации ряда параметров геофизических полей (гравитационного, магнитного и упругого), способные отражать геодинамические процессы, используются для оценки геодинамической напряженности среды [2]. При выборе площадки АС на Кубе [3] по данным глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) способом линеаризованной интерпретации двухмерного поля $t(x,l)$ рефрагированной волны (по методу И.Ф. Шелудько [4]) были построены разрезы истинных скоростей (РИС), представляющие собой поле упругих параметров в вертикальной плоскости $V(x,z)$. Представленная таким образом сейсмическая информация дает возможность «прямой» совместной интерпретации трех геофизических полей: упругого, магнитного и гравитационного. Совместная интерпретация упругих параметров среды и физико-механических характеристик пород, ее образующих, по данным скважинных и лабораторных исследований позволяет переформатировать поле упругих параметров в вертикальной плоскости $V(x,z)$ в поле распределения плотности в вертикальной плоскости $\rho(x,z)$ для решения прямой задачи гравиразведки. Данные распределения плотности в вертикальной плоскости $\rho(x,z)$ могут быть использованы для построения карт литостатического давления вышележащей толщи на литостратиграфические и геолого-геофизические поверхности [5]. Анализ корреляции значений градиентов литостатического давления с распределением гипоцентров землетрясений в объеме изучаемой среды позволяет определить расположение разломов, разрывов, зон ВОЗ относительно площадки АС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *НП-032-19*. Площадка атомной станции. Требования безопасности.: утв. приказом Ростехнадзора от 19.07.2019 № 287.
2. *Фихиева Л.М.* Геодинамика среды и разрешающая способность некоторых динамических параметров сейсмических волн // Геофизика XXI столетия: 2006 год : Сборник трудов Восьмых геофизических чтений имени В.В. Федынского. – М.: Научный мир, 2007. – С. 164–168.
3. *Фихиева Л.М., Шацков В.И.* Перспективы получения уточненной информации по материалам ГСЗ на примере разрезов о. Куба // 50 лет ГСЗ: прошлое, настоящее и будущее. Тезисы докладов международного совещания. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 74 с.
4. *Мишенькина З.Р., Шелудько И.Ф., Крылов С.В.* Использование линеаризованной обратной кинематической задачи для двумерных полей рефрагированных волн // Численные методы в сейсмических исследованиях. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 140–152.
5. *Фихиева Л.М.* Использование градиентов литостатического давления для оценки геодинамической напряженности среды // Геофизика XXI столетия: 2007 год: Сборник трудов Девятых геофизических чтений имени В.В. Федынского. – М.: Изд-во ГЕРС, 2008. – С. 198–202.

НООСФЕРНАЯ СЕЙСМОГЕОНОМИЯ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТЕОРИИ ПАЛЕОПРОЧНОСТИ ГЕОИДА

Ш.Э. Усупаев, д.г.-м.н.
ЦАИИЗ, г. Бишкек, Кыргызстан

Геоид-гибридное космическое пятикратное ударное, слепленное столкновениями подобных планет, образование сохранило за миллиарды лет с момента формирования останки пяти планетоблем.

Сохранились более 67 кольцевых шрамов астероидоблем, которые являются основами рубежей истинной геохронологической шкалы, указывающими бывшие времена кризисов для жизни, причинами и механизмами палео-сеймотектонических событий, сформированных в поле палеопрочности Земли и ее субчастей [1].

Планетоблемы, основа гибридного тела Геоида из пяти подобных космических тел, сохранивших возраста ударных столкновений: 1 – катархей 4 млрд. лет, Канадский щит; 2 – архей 3.5 млрд. лет, Гренландско-Балтийский щит; 3 – протерозой 2.8 млрд. лет, Арктический океан; 4 – рифей 1.9 млрд. лет, океан Тетис; 5 – перед вендом 0.67 млрд. лет, Палео-Тихий океан.

Соответственно масса Геоида скачкообразно увеличилась от и до: 1 – 0.04 до 0.08; 2 – 0.08 до 0.15; 3 – 0.15 до 0.30; 4 – 0.30 до 0.60; 5 – 0.60 до 1.0, включая вес от 67 астероидоблем, и стала равна современной массе Земли.

Инструментальные измерения электромагнитных импульсов по сети МГР-01-С позволили выявить орбитальное движение твердых ядер Земли внутри жидкой планетосферы.

В декабре месяце ядро поднимается в северное, в июле опускается в южное полушарие, создавая сезонность и ритмы в формировании георисков, сейсмичности, дегазации, дефлюидизации недр.

В геонм-моделях прогноза землетрясений в северном полушарии выделены восемь пиков максимальной трансформации кровли литосферы сейсмическими импульсами, а в южном – шесть пиков, из которых два – максимальны [2].

Землетрясения, цунами, горные удары, актуотектонические движения и индуцированные геориски вызваны резонансной разрядкой накопленных и остаточных напряжений в поле палеопрочности Геоида [2].

Предлагается на базе Всемирной метеорологической организации создать ноосферную сейсмогеономическую планетарную сеть МГР-01-С для мониторинга и прогноза цунами, сейсмokatastroф и индуцированных ими георисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Усупаев Ш.Э.** Ноосферная инженерная геонмия сейсмопланетосферы Геоида (теория и практика) // Инновационные технологии в решении актуальных проблем сейсмологии, гидрогеологии и инженерной геологии: Материалы Международной научной конференции, посвященной 110-летию академика Г.А. Мавлянова (20–21 октября 2019 г.). – Ташкент: ИС АН РУз, 2020. – С. 253–262.
2. **Усупаев Ш.Э.** Единая теория поля палеопрочности системы «Земля–Небесные тела–Мироздание» // Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии: Труды Международной научной конференции (Москва, МГУ, 4 февраля 2021 г.) / Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королёва. – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021. – С. 155–165. – EDN: XYWELD

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ НАЗВАНИЙ ОРГАНИЗАЦИЙ

Краткое название организации	Полное название организации	Город
<i>Зарубежные организации</i>		
ИГИ НЯЦ РК	«Институт геофизических исследований» республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» Министерства энергетики Республики Казахстан	г. Курчатов, Республика Казахстан
ИГИС НАН РА	Институт геофизики и инженерной сейсмологии имени 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 имени М.Г. Манвеляна	г. Ереван, Республика Армения
ИС АН РУз	Институт сейсмологии имени Г.А. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан	г. Ташкент, Республика Узбекистан
ИС НАН КР	Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики	г. Бишкек, Кыргызская Республика
РЦСС при НАНА	Республиканский центр сейсмологической службы при Национальной академии наук Азербайджана	г. Баку, Азербайджанская Республика
ТОО «ИС» МЧС РК	Товарищество с ограниченной ответственностью «Институт сейсмологии» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан	г. Алма-Ата, Республика Казахстан
ТОО «СОМЭ» МЧС РК	Товарищество с ограниченной ответственностью «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан	г. Алма-Ата, Республика Казахстан
ЦАИИЗ	Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли	г. Бишкек, Кыргызская Республика
ЦГМ НАН Беларуси	Государственное учреждение «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси»	г. Минск, Республика Беларусь
<i>Российские организации</i>		
ФИЦ ЕГС РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Обнинск
АСФ ФИЦ ЕГС РАН	Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Новосибирск

Краткое название организации	Полное название организации	Город
БФ ФИЦ ЕГС РАН	Байкальский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Иркутск
БуФ ФИЦ ЕГС РАН	Бурятский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Улан-Удэ
ДФ ФИЦ ЕГС РАН	Дагестанский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Махачкала
КФ ФИЦ ЕГС РАН	Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Петропавловск-Камчатский
КоФ ФИЦ ЕГС РАН	Кольский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Апатиты
МФ ФИЦ ЕГС РАН	Магаданский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Магадан
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН	Сейсмологический филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Новосибирск
СФ ФИЦ ЕГС РАН	Сахалинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Южно-Сахалинск
СОФ ФИЦ ЕГС РАН	Северо-Осетинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Владикавказ
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН	Якутский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Якутск
АН РС(Я)	Государственное учреждение «Академия наук Республики Саха (Якутия)»	г. Якутск
«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
ГО «Борок» ИФЗ РАН	Геофизическая обсерватория «Борок» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук	пос. Борок Ярославская обл.

Краткое название организации	Полное название организации	Город
ГоИ КНЦ РАН	Горный институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»	г. Апатиты
ИВМиМГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИГ КарНЦ РАН	Институт геологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»	г. Петрозаводск
ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН	Институт геологии имени академика Н.П. Юшкينا Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук	г. Сыктывкар
ИГАБМ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук	г. Якутск
ИДГ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер Российской академии наук	г. Москва
ИКЗ ТюмНЦ СО РАН	Институт криосферы Земли – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук	г. Тюмень
ИЗМИРАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук	г. Москва, г. Троицк
ИМГиГ ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук	г. Южно-Сахалинск
ИНГГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИТПЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук	г. Москва
ИФЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук	г. Москва
КФ АО «Апатит»	Кировский филиал акционерного общества «Апатит»	г. Кировск
НГУ	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»	г. Новосибирск

Краткое название организации	Полное название организации	Город
ООО «Р-сенсорс»	Общество с ограниченной ответственностью «Р-сенсорс»	г. Долгопрудный
ОФИЦ УрО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук	г. Оренбург
РГУ нефти и газа (НИУ) имени Губкина И.М.	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени Губкина И.М.»	г. Москва
СВКНИИ ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук	г. Магадан
СВФУ	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»	г. Якутск
СПбФ ИЗМИРАН	Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук	г. Санкт-Петербург
ТИ (ф) СВФУ	Технический институт (филиал) федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Нерюнгри	г. Нерюнгри
УрФУ	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»	г. Екатеринбург
ФБУ «НТЦ ЯРБ»	Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»	г. Москва
ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации	г. Воронеж
ФГБОУ ВО «ВГУ»	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»	г. Воронеж
ФГБОУ ВО «СВГУ»	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный государственный университет»	г. Магадан
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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

Аламов Бехруз
мл. науч. сотр.
ИГССС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан
dhuraev52@mail.ru

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

Алёшина Евгения Ильинична
нач. отдела
МФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Магадан
Evgeniya@memsd.ru

Алтынбек уулу Талант
инженер
ЦАИИЗ,
г. Бишкек, Кыргызстан
t.altynbek@caiag.kg

Аммосов Сергей Михайлович
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
ammosovser@mail.ru

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

Антоновская Галина Николаевна
д-р техн. наук,
зам. директора, зав. лаб.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
essm@gmail.com

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

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

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

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

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

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

Асманов Осман Абдуллаевич
канд. физ.-мат. наук, науч. редактор
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
asekovaz@bk.ru

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

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

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

Атрохин Владимир Владимирович

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

Аширов Беимбет Маманович

ген. директор
ТОО «СОМЭ» МЧС РК,
г. Алма-Ата, Казахстан
abm71@mail.ru

Бабкова Елена Алексеевна

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

Багаева Софья Сергеевна

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

Баранов Сергей Владимирович

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

Басакина Ирина Михайловна

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
ibasakina@yandex.ru

Беляева Виктория Александровна

мл. науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
bialiaeva@cgm.by

Беседина Алина Николаевна

канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ;
ст. науч. сотр.
ИДГ РАН, г. Москва
besedina.a@gmail.com

Бугаев Александр Степанович

академик РАН, вед. науч. сотр.
ООО «Р-сенсорс»,
г. Долгопрудный
bugaev@sprlre.ru

Бугаев Евгений Геннадьевич

д-р техн. наук, гл. науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
bugaev@secnrs.ru

Будков Александр Михайлович

д-р техн. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
jack77@mail.ru

Бурмин Валерий Юрьевич

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

Быкова Вера Вячеславовна

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

Ваганова Наталья Владиславовна

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

Вакарчук Роман Николаевич

ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
roman@ifz.ru

Варлашова Юлия Викторовна

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

Верхоланцев Александр Викторович

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

Верхоланцев Филипп Геннадьевич

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

Виноградов Юрий Анатольевич

д-р 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;
ст. науч. сотр., ст. препод.
ИО РАН,
г. Москва
vladis@gsras.ru

Волосов Сергей Георгиевич

ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
volosovc@mail.ru

Габдрахманова Юлия Викторовна
инженер 2 кат.
МФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Магадан
julia@memsd.ru

Габсатаров Юрий Владимирович
канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр., зав. сект.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
ст. науч. сотр.
ИО РАН, г. Москва
yuryg@gsras.ru

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

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

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

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

Гаравелиев Этибар Саядович
д-р фил. геол.-мин. наук, зав. отд.
РЦСС при НАНА
г. Баку, Азербайджан
getibar@gmail.com

Гашимов Руслан Ахметжанович
нач. партии
ТОО «СОМЭ» МЧС РК,
г. Алма-Ата, Казахстан
rusgashimov@mail.ru

Геодакян Эдуард Григорьевич
канд. физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
geodakyan.e@mail.ru

Гладышев Егор Андреевич
науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
gladyshev@gs.sbras.ru

Глухов Виталий Евгеньевич
инженер I кат.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
glukhov_v@emsd.ru

Глухова Ирина Петровна
инженер I кат.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
gir@emsd.ru

Гоев Андрей Георгиевич
канд. физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИДГ РАН,
г. Москва
andr.goev@gmail.com

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

Гриб Галина Владиславовна
канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ТИ (ф) СВФУ,
г. Нерюнгри
n-grib@list.ru

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

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

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

Дергач Петр Александрович
науч. сотр.
ИНГГ СО РАН;
ст. науч. сотр.
НГУ,
г. Новосибирск
dergachpa@ipgg.sbras.ru

Джураев Рахимджон Усманович
канд. геол.-мин. наук, рук. группы
ИГССС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан
dhuraev52@mail.ru

Дмитриева Изольда Юрьевна

нач. сектора
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
iza_ka@mail.ru

Досайбекова Самал Кенжебековна

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

Досымбекова Жансая Багдатовна

нач. ЦСО
ТОО «СОМЭ» МЧС РК,
г. Алма-Ата, Казахстан
d_zhansaya@mail.ru

Дягилев Руслан Андреевич

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

Евтюгина Зинаида Анатольевна

канд. биол. наук, науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
zina_evt@mail.ru

Егоров Иван Владимирович

канд. физ.-мат. наук,
вед. инженер-электроник
ООО «Р-сенсорс»,
г. Долгопрудный
egorov.ivan@phystech.edu

Ежова Ирина Трофимовна

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

Елагин Семён 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,
г. Новосибирск;
ст. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
alex@gs.sbras.ru

Епонешникова Любовь Юрьевна

мл. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
eponeshnikovalu@ipgg.sbras.ru

Ершов Ренат Альбертович

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

Ефременко Марина Алексеевна

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

Жукова Светлана Александровна

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ГоИ КНЦ РАН,
г. Апатиты
svetlana.zhukowa@yandex.ru

Жунусова Айжамал Жамеловна

нач. партии
ТОО «СОМЭ» МЧС РК,
г. Алма-Ата, Казахстан
aijan_jun@mail.ru

Завьялов Алексей Дмитриевич

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

Заплавнова Анна Алексеевна

мл. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН;
аспирант
НГУ,
г. Новосибирск
zaplavnovaaaa@ipgg.sbras.ru

Захаревич Ольга Васильевна

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

Захаров Богдан Дмитриевич

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

Зверева Анастасия Сергеевна

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Пермь
zvereva.as59@gmail.com

Злобина Татьяна Викторовна

вед. инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
tata.verkholantseva@gmail.com

Зотов Олег Дмитриевич

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
ozotov@inbox.ru

Зубович Александр Владимирович

канд. физ.-мат. наук, рук. отдела
ЦАИИЗ,
г. Бишкек, Кыргызстан
a.zubovich@caiaig.kg

Зуева Ирина Александровна

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

Иброгимов Фахриёр Исмоилович

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

Иванков Олег Евгеньевич

инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
ivankov@math.vsu.ru

Иванов Станислав Дмитриевич

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

Игнатчик Елена Михайловна

мл. науч. сотр., аспирант
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
len.ignat2016@yandex.ru

Иманалиева Перизат Акжолтоевна

мл. науч. сотр.
ЦАИИЗ,
г. Бишкек, Кыргызстан
p.imanalieva@caiaig.kg

Исмагилов Валерий Сарварович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
СПбФ ИЗМИРАН,
г. Санкт-Петербург
ivs@izmiran.spb.ru

Калинина Анна Викторовна,

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

Калинина Лада Юрьевна

канд. геол.-мин. наук, зав. кафедрой
ФГБОУ ВО «СВГУ»,
г. Магадан
lada_kalinina@mail.ru

Калинников Игорь Иванович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
i-kalinn@yandex.ru

Калысова Жибек Калысовна

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

Карапетян Джон Костикович

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

Карапетян Роза Костиковна

мл. науч. сотр.
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
gnumner_iges@mail.ru

Каримов Фаршед Хилолович

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

Карпенко Лариса Ивановна

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

Карпинская Ольга Валентиновна

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

Карпинский Владимир Вадимович

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

Качаев Андрей Викторович

зав. лаб.
ТИ (ф) СВФУ,
г. Нерюнгри
kachaev67@gmail.com

Кишкина Светлана Борисовна

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»;
вед. науч. сотр.
ИДГ РАН, г. Москва
KishkinaS@idgras.ru

Кляччин Андрей Игоревич

инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск,
astrogeolog@mail.ru

Кобелева Елена Анатольевна

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

Козьмин Борис Михайлович

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

Кокочкин Иван Васильевич

мл. науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
kokovkin.i.v@gmail.com

Копничев Юрий Федорович

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
yufk777@mail.ru

Копытенко Юрий Анатольевич

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
СПбФ ИЗМИРАН,
г. Санкт-Петербург
magnetYAK@gmail.com

Королева Татьяна Юрьевна

канд. физ.-мат. наук, и.о. ст. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
tanchik18@yandex.ru

Королецки Людмила Николаевна

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

Костылев Дмитрий Викторович

и.о. директора
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск;
науч. сотр.
ИМГиГ ДВО РАН,
г. Южно-Сахалинск
d.kostulev@imgg.ru

Костылева Наталья Владимировна

инженер
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск;
науч. сотр.
ИМГиГ ДВО РАН,
г. Южно-Сахалинск
fily77@mail.ru

Косякина Елизавета Эдуардовна

мл. науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
lilavati21@mail.ru

Кочарян Геворг Грантович

д-р физ.-мат. наук, проф., зам. директора
ИДГ РАН,
г. Москва
gevorgkidg@mail.ru

Куляндина Альбина Семеновна

вед. инженер-геофизик
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН;
аспирант СВФУ,
г. Якутск
albineku@gmail.com

Курова Анна Дмитриевна

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
anya-moro1112@yandex.ru

Курсевич Алексей Александрович

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

Курткин Сергей Валерьевич

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

Лебедев Артём Анатольевич

мл. науч. сотр.
Институт геологии КарНЦ РАН,
г. Петрозаводск
stayxalert@gmail.com

Левченко Алексей Анатольевич

инженер
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
matemet772@gmail.com

Лисейкин Алексей Владимирович

канд. геол.-мин. наук, директор
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
avl@gs.sbras.ru

Лисунов Евгений Витальевич

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владивосток
lisunov.evgeniy@gmail.com

Литовченко Ирина Николаевна

вед. науч. сотр.
ТОО «ИС» МЧС РК,
г. Алма-Ата, Казахстан
litovira@rambler.ru

Лободенко Иван Юрьевич

канд. геол.-мин. наук, нач. отд.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
lobodenko@secnrs.ru

Лютикова Вероника Сергеевна

мл. науч. сотр.
ТОО «ИС» МЧС РК,
г. Алма-Ата, Казахстан
nikki.valo16@gmail.com

Магомедов Хаскил Джарулаевич

директор
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
haskil@dbgsras.ru

Макаров Александр Александрович

вед. инженер
ИГАБМ СО РАН,
г. Якутск
Makarov.2A@yandex.ru

Макаров Евгений Олегович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
ice@emsds.ru

Мамбетова Гульнура Айтбековна

инженер
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
gulnura.890@mail.ru

Мартиневич Юлия Витальевна

мл. науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
martsinovich@cgm.by

Матвеев Игорь Владимирович

ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
igormat954@mail.ru

Матвеев Евгений Александрович

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

Мехдизаде Фируза Заур гызы

мл. науч. сотр.
РЦСС при НАНА,
г. Баку, Азербайджан
fikerimova@yahoo.com

Милехина Александра Михайловна

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

Михайлова Яна Александровна

науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН
г. Архангельск
mikhailovayana@gmail.com

Михеева Анна Владленовна

канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ИВМиМГ СО РАН,
г. Новосибирск
anna@omzg.sssc.ru

Михин Александр Григорьевич

ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
fisherman01@yandex.ru

Мкртчян Мери Артушовна

науч. сотр.
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
mary-mary-86@mail.ru

Мокрушина Нина Георгиевна

ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН, г. Москва
nina305@inbox.ru

Молдобеков Болот Дуйшеналиевич

канд. геол.-мин. наук, содиректор
ЦАИИЗ,
г. Бишкек, Кыргызстан
b.moldobekov@caiag.kg

Морозов Алексей Николаевич

канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва;
вед. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
morozovalexey@yandex.ru

Морозова Екатерина Руслановна

мл. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
morozova_er@fciaarctic.ru

Моторин Александр Юрьевич

мл. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты;
вед. инженер-геофизик
КФ АО «Апатит»,
г. Кировск
ayumotorin@gmail.com

Мохова Виктория Вадимовна

аспирант, преподаватель
ФГБОУ ВО ВГУ;
инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
viktoriyaperevoznikova@rambler.ru

Мунирова Лира Мирхатовна

инженер I кат.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
liamrita7@gmail.com

Мураталиева Жазгуль Зайырбековна
инженер I кат.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
zhazgul0404@mail.ru

Муродкулов Шохрух Якубович
канд. геол.-мин. наук, зам. директора
ИГССС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан
shohrukh.m@mail.ru

Мурьськин Алексей Сергеевич
инженер
ФИЦ ЕГС РАН;
инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
muriskinas@gmail.com

Мухаммадкулов Нурали Муродалиевич
вед. инженер
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
barno.rustamovna@mail.ru

Надёжка Людмила Ивановна
канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
nadezhka@ssm.vsu.ru

Наумов Сергей Борисович
рук. с/ст «Владивосток»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владивосток
revtrud@yandex.ru

Нестеренко Максим Юрьевич
д-р геол.-мин. наук, доцент, зав. отд.
ОФИЦ УрО РАН,
г. Оренбург
n_mu@mail.ru

Носкова Наталия Николаевна
канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
noskova@geo.komisc.ru

Николаев Леонид Дмитриевич
науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
leni89@mail.ru

Овчинников Владимир Михайлович
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
ovtch1@yandex.ru

Оганесян Севада Мкртичевич
чл.-корр. НАН РА, д-р физ.-мат. наук,
зав. лаб., советник директора
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
iges@mail.ru

Олимов Бахром Косимович
зав. сетью сейсм. и геоф. мониторинга
ИГССС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан
seismtadj@rambler.ru

Олимов Шодруз Амиркулович
инженер
ИГССС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан
seismtadj@rambler.ru

Омуралиев Медербек Омуралиевич
канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
mederbek@mail.ru

Омуралиева Айымжан Медербекковна
канд. геол.-мин. наук, зам. директора
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
omuraika@mail.ru

Омурбек кызы Канышай
инженер
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
kanyshaj.omurbekkyzy@bk.ru

Панас Наталья Михайловна
инженер I кат.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
natagold-86@inbox.ru

Пашаян Ромела Артаваздовна
канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ИГИС НАН РА,
г. Ереван, Армения
romellapashayan@sci.am

Петрищев Максим Сергеевич
канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
СПбФ ИЗМИРАН,
г. Санкт-Петербург
petrishev@gmail.com

Петрова Наталия Владимировна
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
npetrova@gsras.ru

Петросян Гоарик Размиковна
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
Москва
gohar@list.ru

Печенегов Дмитрий Александрович
мл. науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
d.pechenegov@g.nsu.ru

Пивоваров Роман Сергеевич

инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
serg@geophys.vsu.ru

Пивоваров Сергей Павлович

науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
serg@geophys.vsu.ru

Полянский Павел Олегович

канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
ppavel6.10@gmail.com

Предин Пётр Алексеевич

канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
crmpeter@gmail.com

Радзиминович Ян Борисович

канд. геол.-мин. наук, нач. сектора
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
ian@crust.irk.ru

Резниченко Роман Александрович

инженер
ИДГ РАН,
г. Москва
beast-04@yandex.ru

Рыбушкин Александр Юрьевич

зам. нач. отд.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
elrb@yandex.ru

Саакян Бабкен Вазгенович

науч. сотр.
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
sahakyan_babken@mail.ru

Салтыков Вадим Александрович

д-р физ.-мат. наук, доцент,
гл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
salt@emsd.ru

Санина Ирина Альфатовна

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

Сафронич Игорь Николаевич

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
igor@geophys.vsu.ru

Саяпина Анна Анатольевна

директор
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
a_sayapina@gsras.ru

Сдельникова Ирина Александровна

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

Селезнев Виктор Сергеевич

д-р геол.-мин. наук, рук. науч. напр.
ФИЦ ЕГС РАН;
зам. директора
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
sel@gs.sbras.ru

Семенов Александр Евгеньевич

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
alexander.semenow@gmail.com

Семенова Елена Васильевна

канд. биол. наук, доцент
ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко,
г. Воронеж
alexander.semenow@gmail.com

Семибаламут Владимир Михайлович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
wladim28@yandex.ru

Сергушин Павел Анатольевич

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
СПбФ ИЗМИРАН,
г. Санкт-Петербург
pavel.sergushin@gmail.com

Серёжников Николай Александрович

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

Сехпосян Анна Гагиковна

ст. инженер
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
ansekhposyan@mail.ru

Сизаск Илья Алексеевич

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
ilya@geophys.vsu.ru

Силкин Константин Юрьевич

канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
const.silkin@ya.ru

Соколова Инна Николаевна

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
SokolovaIN@gsras.ru

Соловьев Виктор Михайлович

канд. геол.-мин. наук, зам. директора
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
solov@gs.sbras.ru

Старков Иван Владимирович

техник
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск;
техник УрФУ,
г. Екатеринбург
morozovalexey@yandex.ru

Татевосян Рубен Эдуардович

д-р физ.-мат. наук, зам. директора
ИФЗ РАН,
г. Москва
ruben@ifz.ru

Терещенко Ксения Валерьевна

мл. науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
tsiareshchenko@cgm.by

Терещенко Павел Евгеньевич

канд. физ.-мат. наук, директор
СПбФ ИЗМИРАН,
г. Санкт-Петербург
tereshchenko@gmail.com

Тихонов Сергей Александрович

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

Товмасын Кристина Гагиковна

ст. инженер
ИГИС НАН РА,
г. Ереван, Армения
kristina.tovmasyan.2020@mail.ru

Тубанов Цырен Алексеевич

канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ;
директор
БуФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Улан-Удэ
geos@ginst.ru

Усольцева Ольга Алексеевна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
kriukova@mail.ru

Усупаев Шейшеналы Эшманбетович

д-р геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ЦАИИЗ,
г. Бишкек, Кыргызстан
sh.usupaev@caiag.kg

Фатеев Александр Владимирович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск;
вед. инженер
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
fateev@gs.sbras.ru

Федоров Андрей Викторович

канд. физ.-мат. наук, директор
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
AFedorov@krsc.ru

Федоров Иван Сергеевич

мл. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
IFedorov@krsc.ru

Филиппова Алена Игоревна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИЗМИРАН,
г. Москва, г. Троицк;
ИТПЗ РАН,
г. Москва
aleirk@mail.ru

Фихиева Луиза Мусаевна

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

Фокина Татьяна Александровна

нач. отдела
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
fokina@seismo.sakhalin.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_1@mail.ru

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич

д-р фил. техн. наук, ст. науч. сотр.
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
hayrulla_classic@mail.ru

Холодков Кирилл Игоревич
канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
keir@ifz.ru

Хусомиддинов Сабриддин Самарович
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИС АН РУЗ,
г. Ташкент, Узбекистан
hssabrid@mail.ru

Царев Андрей Михайлович
науч. сотр.
ИКЗ ТюмНЦ СО РАН,
г. Тюмень
tsarev.am@gmail.com

Чебров Данила Викторович
канд. физ.-мат. наук, директор
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
danila@emsd.ru

Чемарёв Андрей Сергеевич
науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
andrew@emsd.ru

Чечельницкий Владимир Васильевич
канд. геол.-мин. наук, зам. директора
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
chechel@crust.irk.ru

Чивиева Татьяна Валерьевна
нач. сектора
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
chivieva-t-v@yandex.ru

Шакирова Александра Альбертовна
канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
shaki@emsd.ru

Шарифов Умеджон Амиргулхонович
науч. сотр.
ИГССС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан
dhuraev52@mail.ru

Шаршебаев Азамат Камчыбекович
науч. сотр.
ЦАИИЗ,
г. Бишкек, Кыргызстан
a.sharshebaev@caiaag.kg

Шебалин Пётр Николаевич
член-корреспондент РАН,
д-р физ.-мат. наук, директор
ИТПЗ РАН,
г. Москва
p.n.shebalin@gmail.com

Шевкунова Елена Викторовна
науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
elenash@gs.sbras.ru

Шулаков Денис Юрьевич
канд. техн. наук, зав. лаб.
«ГИ УрО РАН»;
науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Пермь
shulakov@mi-perm.ru

Юсупов Валижон Рустамович
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИС АН РУЗ,
г. Ташкент, Узбекистан
valijon.yusupov@mail.ru

**Bakdamirova (Бакдамирова)
Gunay Ikhtiyar**
Scientist
RSCC of ANAS,
Baku, Azerbaijan
bkdmirovagunay@gmail.com

Jalilova (Джалилова) Ilhama Nadir
Researcher
RSSC of ANAS,
Baku, Azerbaijan
ilhame.celilova.91@mail.ru

Tahlatli (Тахлатли) Narmin Elkhan
Engineer, Scientist
RSCC of ANAS,
Baku, Azerbaijan
ntehletli@gmail.com

Yusifova (Юсифова) Turan Casur
Scientist
RSCC of ANAS,
Baku, Azerbaijan
narinmiran5@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.А. Виноградов. Состояние системы сейсмологических наблюдений в России и перспективы ее развития	3
З.А. Адилов. Индуцированная сейсмичность на территории Дагестана и прилегающих районов в результате Турецкого землетрясения 6 февраля 2023 г.	4
Б. Аламов, Р.У. Джураев. Макросейсмические проявления Мастчинского землетрясения 22 марта 2023 г.	5
И.М. Алёшин, А.Г. Гоев, М.Ю. Нестеренко, А.И. Астаскевич. Кора и верхняя мантия Южного Предуралья по приемным функциям	6
Т. Алтынбек у., А.К. Шаршебаев, А.В. Зубович, П.А. Иманалиева. Апробация программного обеспечения SES для обработки и интерпретации сейсмических данных по сети станций сильных движений ACROSS	7
С.М. Аммосов, А.В. Калинина. Применение методов регистрации микросейсм для задач сейсмического микрорайонирования	8
В.В. Арапов. Оценка внутреннего поглощения и рассеяния сейсмических волн для территории Горного Алтая	9
А.Г. Аронов, Т.И. Аронова, В.А. Беляева, Ю.В. Мартинович, К.В. Терещенко, О.В. Захаревич. Сейсмологический мониторинг в структуре Белорусской антарктической станции	10
А.Г. Аронов, В.А. Беляева. О точности локации местных сейсмических событий	11
А.Г. Аронов, В.А. Беляева, А.А. Курсевич, А.А. Левченко, Ю.В. Мартинович, К.В. Терещенко. Программный комплекс SeisComP-5 в системе сейсмологического мониторинга Беларуси	12
А.Г. Аронов, Ю.В. Мартинович. Некоторые алгоритмы обнаружения полезного сейсмического сигнала	13
А.Г. Аронов, К.В. Терещенко. Построение механизмов очагов далеких землетрясений в системе сейсмологического мониторинга Беларуси	14
Г.А. Аронов. Сейсмологические наблюдения в Беларуси. Состояние и перспективы	15
В.Э. Асминг, И.С. Федоров, А.Ю. Моторин. Автоматическая система сейсмического мониторинга Восточного рудника КФ АО «Апатит»	16
Б.А. Ассиновская. О сейсмической опасности региона архипелага Новая Земля	17
С.В. Баранов, А.Ю. Моторин, С.А. Жукова. Сезонные вариации продуктивности землетрясений на месторождениях Хибин	18
И.М. Басакина, Г.Н. Антоновская, А.М. Царев, Е.М. Игнатчик. Сейсмические свойства грунтов по результатам СМР на площади Ломоносовского ГОКа	19
А.Н. Беседина. Микросейсмический мониторинг при ведении горных работ на примере железорудного месторождения	20
В.Ю. Бурмин, Г.Р. Петросян. Распределение гипоцентров землетрясений на территории Туркменистана и Северного Ирана, зарегистрированных с 1964 по 2011 г.	21
В.В. Быкова, Р.Н. Вакарчук, И.В. Матвеев, А.Г. Михин, Л.Д. Николаев, Р.Э. Татевосян. Опыт оценки сейсмической опасности района Северной Якутии	22
А.В. Верхоланцев. Результаты комплексного мониторинга сейсмического воздействия промышленных взрывов на эксплуатируемое здание	23
Ф.Г. Верхоланцев, С.В. Баранов, В.Э. Асминг, Ю.В. Варлашова. Афтершоковая серия Катав-Ивановского землетрясения 4 сентября 2018 г. с $M_w=5.0$ (Урал)	24
И.П. Габсатарова, А.А. Саяпина, И.Ю. Дмитриева, С.С. Багаева. Кластеризация землетрясений центральной части Северного Кавказа методом двойных разностей	25
Н.К. Гайдай, Л.Ю. Калинина. Распределение землетрясений арктического побережья Чукотки относительно плотностной границы расслоения в земной коре	26

Э.С. Гаравелиев. Опыт уточнения сейсмического эффекта на стройплощадках в Азербайджане	27
А.Г. Гоев. Скоростное строение земной коры и верхней мантии северо-западной части Лапландско-Кольского орогена методом функций приемника	28
А.Г. Гоев, Р.А. Резниченко, И.М. Алёшин, С.Г. Волосов. Новая сеть широкополосных сейсмических станций в центральной части Восточно-Европейской платформы	29
Н.Н. Гриб, Г.В. Гриб, А.В. Качаев. Сейсмическое микрорайонирование ограждающих дамб шлакозолоотвала Нерюнгринской ГРЭС	30
П.В. Громыко, Д.А. Печенегов, В.С. Селезнев, А.В. Лисейкин. Опыт применения метода стоячих волн для локализации деформаций в исторических сооружениях г. Тюмени	31
И.Н. Джалилова. Изучение инженерно-геологического состояния территории г. Баку с целью определения уровня сейсмической опасности	32
Ж.Б. Досымбекова, С.К. Досайбекова. Сейсмотектоническая обстановка Казахстана по данным механизмов очагов землетрясений за 2021–2022 гг.	33
Р.А. Дягилев. Комплекс программ для анализа сейсмических данных при УИС и ДСР	34
З.А. Евтюгина, В.Э. Асминг. Детектор инфразвуковых сигналов QACD2 и его применение	35
И.В. Егоров, В.М. Агафонов, А.С. Бугаев. Среднепериодный электрохимический сейсмометр	36
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Шевкунова, Е.А. Гладышев. Детальные исследования локальных сейсмических активизаций и общей структуры сейсмичности в Алтае-Саянской горной области	37
Л.Ю. Епонешникова, П.А. Дергач, А.А. Заплавнова. Комплексный анализ данных сейсмологического мониторинга и МТЗ в районе дельты реки Лены	38
Р.А. Ершов, В.М. Семибаламут, А.Ю. Рыбушкин, А.А. Еманов. Регистраторы Байкал-8L и 8.2 и их испытания с различными типами датчиков	39
А.Ж. Жунусова, Б.М. Аширов, Р.А. Гашимов, И.Н. Соколова. Расширение и модернизация сети сейсмических станций СОМЭ МЧС РК в рамках проекта SNECCA	40
А.Д. Завьялов, О.Д. Зотов, А.В. Гульельми. Роль афтершоков сильных землетрясений при определении характерных размеров очаговой зоны	41
Б.Д. Захаров, А.А. Еманов. Веб-приложение itShakes для сбора макросейсмической информации	42
А.С. Зверева, И.П. Габсатарова, А.А. Саяпина. Добротность литосферы центральной части Северного Кавказа	43
Т.В. Злобина. Изучение техногенной сейсмичности с помощью ГИС-технологий на калийных рудниках	44
И.А. Зуева, А.А. Лебедев. Землетрясения Карелии	45
О.Е. Иванков, И.Н. Сафронич. Программный модуль создания бюллетеней в формате «трех файлов» из сгенерированного программой WSG отчета о землетрясениях	46
Е.М. Игнатчик, И.М. Басакина, Г.Н. Антоновская. Инженерно-сейсмометрические наблюдения за опасными участками Северной железной дороги	47
Ж.К. Калысова, К.Е. Абдрахматов. Распределение роевых последовательностей землетрясений Северного Тянь-Шаня	48
Ф.Х. Каримов, Б.К. Олимов, Ш.А. Олимов. Вариации рН подземных термоминеральных вод Южного Таджикистана за 2020–2023 гг.	49
В.В. Карпинский, Б.А. Ассиновская, Н.М. Панас, Л.М. Мунирова, О.В. Карпинская. О сейсмичности юго-восточного склона Фенноскандинавского щита	50
С.Б. Кишкина, А.М. Будков. Сверхсдвиговые землетрясения и их опасность	51

Е.А. Кобелева, В.В. Чечельницкий, Я.Б. Радзиминович. Инструментальные и макросейсмические оценки интенсивности землетрясений в Прибайкалье	52
Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова. Картирование неоднородностей поля поглощения короткопериодных S-волн в районе г. Алма-Аты	53
Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в литосфере Центральной Турции и их связь с сильными землетрясениями	54
Т.Ю. Королева. Распределение скоростей волн Релея на территории Кавказа по данным различных сейсмических сетей	55
Л.Н. Королецки, И.П. Габсатарова, А.И. Клянчин. Туапсинская активизация в мае 2023 г.	56
Н.В. Костылева, Д.В. Костылев. О характере протекания сейсмического процесса в районе активной угледобычи на о. Сахалин по данным детальных наблюдений	57
Н.В. Костылева, Д.В. Костылев, Т.А. Фокина. К 50-летию мониторинга сейсмической активности приводохранилищного района Зейской ГЭС	58
Е.Э. Косякина, А.В. Лисейкин, П.В. Громько, В.С. Селезнев. Контроль технического состояния здания свайного типа на многолетнемерзлых грунтах по данным сейсмического мониторинга	59
Г.Г. Кочарян, А.М. Будков. Развитие нарушенной зоны в окрестности сейсмогенного разрыва	60
А.С. Куляндина. Фрактальные особенности пространственно-временного распределения сейсмичности дельты реки Лены и их взаимосвязь с геофизическими полями	61
С.В. Курткин, Е.И. Алёшина, Ю.В. Габдрахманова, Л.И. Карпенко, В.В. Атрохин. Представительность землетрясений и модернизация оборудования на Северо-Востоке РФ	62
А.А. Лебедев, И.А. Зуева. Сеть сейсмического мониторинга Карелии	63
А.В. Лисейкин, В.С. Селезнев. Контроль разрушительных процессов на ГЭС по малоамплитудным сейсмическим сигналам	64
Е.В. Лисунов, С.В. Горожанцев. К вопросу оперативного определения механизма очага цунамиопасного землетрясения с использованием гравиметрических данных	65
И.Ю. Лободенко, С.Б. Кишкина, Е.Г. Бугаев. Анализ параметров техногенных землетрясений при обосновании безопасности площадок АЭС	66
В.С. Лютикова, И.Н. Литовченко. Физико-математические критерии распознавания роев землетрясений в сейсмичности Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий	67
Х.Д. Магомедов, О.А. Асманов. О Гунибском землетрясении 8 декабря 2022 г.	68
Е.О. Макаров, В.Е. Глухов, И.П. Глухова. Создание и развитие сети наклономерных станций на Камчатке в 2020–2022 гг.	69
А.А. Макаров, Б.М. Козьмин. Сейсмичность Тимптоно-Учурского блока (Южная Якутия)	70
Г.А. Мамбетова, М.О. Омуралиев. Последовательность проявления землетрясений Кыргызстана и прилегающих районов за 2022 г.	71
Ф.З. Мехдизаде. О гидрогеологических и геоморфологических факторах, влияющих на уровень сейсмической опасности в сейсмически активных районах г. Баку	72
А.М. Милехина. Возможность выявления воронок газового выброса по сейсмическим данным	73
Я.А. Михайлова. Выделение роевой сейсмичности на хребте Гаккеля методом кластерного анализа	74
А.В. Михеева, И.И. Калинин. О влиянии предполагаемого глубинного разлома на сильные землетрясения Индонезии	75
М.А. Мкртчян, Б.В. Саакян, Д.К. Карапетян, Э.Г. Геодакян, С.М. Оганесян. Об активизации сейсмичности Армении, связанной с возникновением сильных землетрясений на Кавказе	76

Б.Д. Молдобеков, Ш.Э. Усупаев, А.К. Шаршебаев, Т. Алтынбек уулу, П.А. Иманалиева. Инженерная он-лайн сеть оповещения сейсмокатастроф Кыргызстана	77
А.Н. Морозов, Н.В. Ваганова, Я.А. Михайлова, Е.Р. Морозова, И.В. Старков. Рои землетрясений как проявление вулcano-тектонических процессов на хребте Гаккеля в Арктике	78
А.Н. Морозов, С.Д. Иванов, А.Д. Завьялов, И.М. Алёшин, К.И. Холодков. Модифицированный метод КОЗ: расчет ретроспективных статистических характеристик прогностических признаков	79
А.Ю. Моторин, С.В. Баранов, П.Н. Шебалин. Пространственное распределение сейсмических событий, инициированных взрывами, на примере Хибинской ПТС	80
В.В. Мохова. Математическое моделирование сейсмического эффекта в очаге массового промышленного взрыва	81
Ж.З. Мураталиева, Ж.К. Калысова. Особенности распределения землетрясений за 2020–2022 гг. в зоне проявления сильных катастрофических землетрясений Северного Тянь-Шаня	82
Ш.Я. Муродкулов. Сейсмичность и сейсмическая опасность района Сарезского озера	83
Л.И. Надёжка, И.Н. Сафронич. О затухании сейсмической энергии промышленных взрывов и определение длительности событий	84
С.Б. Наумов. Сейсмичность Приханкайской низменности в период ее подтопления	85
М.Ю. Нестеренко. Развитие сети сейсмических станций в Оренбургской области	86
Н.Н. Носкова, Ф.Г. Верхоланцев, Р.А. Дягилев. Макросейсмическое поле Вятского землетрясения 13 августа 1897 г.	87
К. Омурбек к., К.Е. Абдрахматов, М.О. Омуралиев, А.М. Омуралиева. Проявления сейсмических «брешей» землетрясений с $K \geq 8$ в пределах территории месторождения «Кумтор» во время его разработки в 1995–2022 гг.	88
Р.А. Пашаян, Д.К. Карапетян, Л.В. Арутюнян, К.Г. Товмасян. Сейсмотектоническая активность очаговых зон землетрясений Северной и Центральной Армении	89
М.С. Петрищев, Ю.А. Копытенко, П.А. Сергушин, В.С. Исмагилов, С.С. Хусомиддинов, В.Р. Юсупов. Анализ электромагнитных возмущений в связи с тектоническими процессами в окрестности обсерватории «Янгибазар»	90
Н.В. Петрова, А.Д. Курова. О магнитудах, используемых в уравнениях расчета сейсмической энергии и макросейсмического поля	91
Н.В. Петрова, В.А. Салтыков. Особенности сейсмического режима очаговой зоны Кёнекесирского землетрясения 12.10.2015 г. с $M_w=5.2$ в Западном Копетдаге	92
Р.С. Пивоваров, М.А. Ефременко, С.П. Пивоваров. О методике интерпретации сложных записей местных сейсмических событий на территории Воронежского кристаллического массива	93
С.П. Пивоваров, М.А. Ефременко, Р.С. Пивоваров. Магнитудные поправки техногенных сейсмических событий на территории Воронежского кристаллического массива	94
П.О. Полянский, А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Ю.А. Виноградов, Е.В. Шевкунова. Сейсмическое воздействие на крупные инженерные объекты Западной Сибири	95
Б.В. Саакян, М.А. Мкртчян, Р.К. Карапетян, А.Г. Сехпосян. Выявление областей подготовки сильных землетрясений на территории Северной Армении	96
В.А. Салтыков. Пространственно-временные особенности представительности каталога землетрясений Камчатки	97
И.Н. Сафронич. Особенность выбора сейсмического оборудования для мониторинга территории Воронежского кристаллического массива	98
И.А. Сдельникова, А.А. Саяпина, Ю.В. Габсатаров, И.С. Владимирова. Пространственно-временные вариации современных движений и деформаций земной коры Северного Кавказа по данным ГНСС	99

В.С. Селезнев, А.В. Лисейкин, И.В. Коковкин. Метод сейсмического мониторинга «ДИСКОНТ»	100
А.Е. Семенов, И.Т. Ежова, О.Е. Иванков. Пространственная корреляция региональных особенностей гравитационного поля и распределение эпицентров землетрясений	101
А.Е. Семенов, М.А. Ефременко, Е.В. Семенова. О точности локации сейсмических событий на территории ВКМ	102
П.А. Сергушин, М.С. Петрищев, П.Е. Терещенко, Ю.А. Копытенко, В.С. Исмагилов, С.С. Хусомиддинов, В.Р. Юсупов. Возможности применения геофизического комплекса «Очаг-1» для прогноза землетрясений	103
Н.А. Серёжников, А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, В.М. Соловьев, П.О. Полянский. Спектрально-корреляционные особенности волновых полей взрывов с близкими координатами	104
И.А. Сизаск. База данных вариаций микросейсмического шума на территории Воронежского кристаллического массива	105
К.Ю. Силкин. Двоичные отпечатки: новый подход к обработке и интерпретации сейсмологических записей	106
И.Н. Соколова, И.П. Габсатарова, Е.А. Бабкова. Ощутимое землетрясение 25 апреля 2023 г. в Северо-Восточном Прикаспии (Западный Казахстан)	107
В.М. Соловьев, В.С. Селезнев, А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, С.А. Елагин, Н.А. Серёжников, Н.А. Галёва. Вибросейсмический мониторинг среды участков размещения крупных народнохозяйственных объектов в окрестности Новосибирска	99 108
Р.Э. Татевосян, Н.Г. Мокрушина. Землетрясение 11/23 сентября 1888 г. в системе Северо-Анатолийских разломов	109
Н.Э. Тахлатли, Г.И. Бакдамирова, Т.Д. Юсифова. Влияние современной геодинамики на активизацию грязевых вулканов	110
С.А. Тихонов, Е.О. Макаров, Д.В. Чебров. Концепция модернизированной системы мониторинга подпочвенных газов в районе Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона	111
Ц.А. Тубанов, А.Н. Беседина, П.А. Предеин. Региональные особенности микросейсм и спектров землетрясений Байкальского рифта	112
Ц.А. Тубанов, П.А. Предеин, А.Н. Беседина. Анализ качества данных сейсмических станций в центральной части Байкальского рифта	113
О.А. Усольцева, В.М. Овчинников. Характеристики волн <i>PcP</i> и <i>PKiKP</i> под Центральной Азией	114
О.А. Усольцева, И.А. Санина. Коррекция координат сейсмических событий и оценка параметра добротности для Мурманской области РФ	115
А.В. Федоров, В.Э. Асминг, С.В. Баранов, И.С. Федоров. Наблюдения активизации ледника Бломстранд на севере о. Западный Шпицберген по данным одиночной сейсмической станции	116
А.С. Фомочкина, А.И. Филиппова. Очаговые параметры сильных землетрясений Аляски 2020–2021 гг.	117
А.С. Фомочкина, А.И. Филиппова. Построение модели очага Илин-Тасского землетрясения 2013 г. по записям поверхностных волн	118
Л.А. Хамидов, Ф.Р. Артиков, С.Г. Анварова, Б.Р. Ганиева. Распределение очагов землетрясений в разломах вблизи крупных водохранилищ Узбекистана	119
Х.Л. Хамидов, Ф.И. Иброгимов, Н.М. Мухаммадкулов. Реализация методологии определения частот колебаний плотин и береговых склонов водохранилищ	120
Д.В. Чебров. Система мониторинга и прогнозирования опасных природных явлений на Камчатке	121
А.С. Чемарёв, Е.А. Матвеевко. Единая информационная система сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН в 2023 г.	122

Т.В. Чивиева, П.В. Громыко, В.С. Селезнев. О способе локализации источника техногенной помехи на основе данных сейсмической сети Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН	123
А.А. Шакирова, В.А. Салтыков. Вариации наклона графика повторяемости в зоне субдукции Тонга в 2005–2022 гг.	124
У.А. Шарифов, Р.У. Джураев. Сейсмический мониторинг территории Таджикистана	125
Д.Ю. Шулаков, А.С. Мурыськин. Комплексирование шахтных и поверхностных сейсмологических наблюдений в условиях Верхнекамского месторождения солей	126
Раздел «Исследования в смежных областях науки»	
Н.К. Гайдай. Подготовка специалистов для отрасли в условиях турбулентности, неопределенностей и перемен. Новые компетенции?	127
И.Ю. Лободенко, Л.М. Фихиева. Применение комплекса геофизических исследований в районе и на площадке АС при обосновании характеристик тектонической активности	128
Ш.Э. Усупаев. Ноосферная сейсмогеономия прогноза землетрясений в теории палеопрочности Геоида	129
Приложение 1. Официальные сокращения названий организаций	130
Приложение 2. Сведения об авторах	

CONTENTS

Yu.A. Vinogradov. The state of the seismological observation system in Russia and the prospects for its development	3
Z.A. Adilov. Induced seismicity on the territory of Dagestan and adjacent areas as a result of the Turkish earthquake on February 6, 2023	4
B. Alamov, R.U. Dzhuraev. Macroseismic manifestations of the Mastchin earthquake March 22, 2023	5
I.M. Aleshin, A.G. Goev, M.Yu. Nesterenko, A.I. Astaskevich. The crust and upper mantle of the Southern Cis-Urals derived from receiver functions	6
T. Altynbek uulu, A.K. Sharshebaev, A.V. Zubovich, P.A. Imanalieva. Testing of SES software for processing and interpretation of seismic data on the ACROSS strong motion stations network	7
S.M. Ammosov, A.V. Kalinina. Use of microseismic methods in problem of seismic microzonation	8
V.V. Arapov. Estimation of intrinsic and scattering of seismic waves for the Altai region territory	9
A.G. Aronov, T.I. Aronova, V.A. Bialiyeva, Yu.V. Martinovich, K.V. Tsireshchenko, O.V. Zaharevich. Seismological monitoring in the framework of the Belarusian Antarctic station	10
A.G. Aronov, V.A. Bialiyeva. On the location accuracy of local seismic events	11
A.G. Aronov, V.A. Bialiyeva, A.A. Kursevich, A.A. Levchenko, Yu.V. Martinovich, K.V. Tsireshchenko. Software complex SeisComp-5 in the system of seismological monitoring of Belarus	12
A.G. Aronov, Yu.V. Martinovich. Some detection algorithms of desired seismic signal	13
A.G. Aronov, K.V. Tsireshchenko. Construction of focal mechanisms of distant earthquakes in the system of seismological monitoring of Belarus	14
G.A. Aronov. Seismological observations in Belarus. Status and prospects	15
V.E. Asming, I.S. Fedorov, A.Yu. Motorin. The automatic system of seismic monitoring of the Vostochny mine of «Apatit» joint-stock company	16
B.A. Assinovskaya. On the seismic hazard of the region of the Novaya Zemlya archipelago	17
S.V. Baranov, A.Yu. Motorin, S.A. Zhukova. Seasonal variations in earthquake productivity at Khibiny deposits	18
I.M. Basakina, G.N. Antonovskaya, A.M. Tsarev, E.M. Ignatchik. Seismic properties of soils according to the results of SMR on the area of Lomonosovsky GOK	19
A.N. Besedina. Microseismic monitoring during mining at iron deposit	20
V.Yu. Burmin, G.R. Petrosyan. Distribution of earthquake hypocenters in the territory of Turkmenistan and Northern Iran registered 1964 to 2011	21
V.V. Bykova, R.N. Vakarchuk, I.V. Matveev, A.G. Mikhin, L.D. Nikolaev, R.E. Tatevossian. Experience of seismic hazard assessment in Northern Yakutia region	22
A.V. Verkholtantsev. Results of comprehensive monitoring seismic effects of industrial explosions on the operated building	23
F.G. Verkholtantsev, S.V. Baranov, V.E. Asming, Yu.V. Varlasova. Aftershock series of the Katav-Ivanovsk earthquake on September 4, 2018 Mw=5.0 (Ural)	24
I.P. Gabsatarova, A.A. Sayapina, I.Yu. Dmitrieva, S.S. Bagaeva. Earthquake clustering in the central part of the Northern Caucasus by the Double Difference Method	25
N.K. Gayday, L.Yu. Kalinina. Distribution of earthquakes of the Arctic coast of Chukotka relative to the density boundary of stratification in the earth's crust	26
E.S. Garavaliyev. Experience of reference of the seismic effect at construction sites in Azerbaijan	27

A.G. Goev. Velocity structure of the earth's crust and upper mantle in the northwestern part of the Lapland-Kola orogen by the receiver function technique	28
A.G. Goev, R.A. Reznichenko, I.M. Aleshin, S.G. Volosov. New broadband seismic network in the central part of the East-European craton	29
N.N. Grib, G.V. Grib, A.V. Kachaev. Seismic microdistricting of enclosing dams of the hydroelectric power station slag dump in Neryungri	30
P.V. Gromyko, D.A. Pechenegov, V.S. Seleznev, A.V. Liseikin. Experience of using the standing wave method for localization of existing deformations on historical buildings in the Tyumen city	31
I.N. Jalilova. Study of engineering-geological condition of the territory of Baku city in order to determine the level of seismic hazard	32
Zh.B. Dossymbekova, S.K. Dossaipekova. Seismotectonic environment of Kazakhstan according to the mechanisms of earthquakes for 2021-2022	33
R.A. Dyagilev. Software for seismic data analysis in detailed seismic hazard assessment	34
Z.A. Evtiugina, V.E. Asming. The QACD2 detector of infrasonic signals and its application	35
I.V. Egorov, V.M. Agafonov, A.S. Bugaev. Medium-period electrochemical seismometer	36
A.A. Emanov, A.F. Emanov, A.V. Fateev, E.V. Shevkunova, E.A. Gladyshev. Detailed studies of the local seismic activity and the overall structure of seismicity in the Altai-Sayan mountain region	37
L.Yu. Eponeshnikova, P.A. Dergach, A.A. Zaplavnova. Complex analysis of seismological monitoring and MTS data in the area of the Lena delta	38
R.A. Ershov, V.M. Semibalamut, A.Yu. Rybushkin, A.A. Emanov. Recorders Baikal-8L and 8.2 and their testing with different types of sensors	39
A.Zh. Zhunusova, B.M. Ashirov, R.A. Gashimov, I.N. Sokolova. SEME MES RK seismic network expansion and modernization within the framework of the SNECCA project	40
A.D. Zavyalov, O.D. Zotov, A.V. Guglielmi. The role of aftershocks of strong earthquakes in determining the characteristic size of the focal zone	41
B.D. Zakharov, A.A. Emanov. ItShakes web application for collecting macroseismic information	42
A.S. Zvereva, I.P. Gabsatarova, A.A. Sayapina. CodaQ of the central part of the North Caucasus	43
T.V. Zlobina. Analysis of induced seismicity using GIS-technology at potash mines	44
I.A. Zueva, A.A. Lebedev. Earthquakes in Karelia	45
O.E. Ivankov, I.N. Safronich. The software module for creating bulletins in the format of "three files" from the earthquake report generated by the WSG program	46
E.M. Ignatchik, I.M. Basakina, G.N. Antonovskaya. Engineering-seismometric observations of dangerous sections of the Northern Railway	47
Zh.K. Kalysova, K.E. Abdrakhmatov. The distribution of earthquake swimming sequences of earthquake in the Northern Tien Shan	48
F.H. Karimov, B.K. Olimov, Sh.A. Olimov. Variations of the pH of the underground thermo-mineral waters in the Southern Tajikistan in 2020-2023	49
V.V. Karpinsky, B.A. Assinovskaya, N.M. Panas, L.M. Munirova, O.V. Karpinskaya. On the seismicity of the southeastern slope of the Fennoscandian shield	50
S.B. Kishkina, A.M. Budkov. Supershear earthquakes and their destructive	51
E.A. Kobeleva, V.V. Chechelnskiy, Y.B. Radziminovich. Estimates of instrumental and macroseismic intensity of earthquakes in the Baikal Region	52
Yu.F. Kopnichev, I.N. Sokolova. Mapping of short-period S-waves attenuations field inhomogeneities in the region of Alma-Ata	53
Yu.F. Kopnichev, I.N. Sokolova. Heterogeneities of the short-period S-waves attenuation field of in the lithosphere of Central Turkey and their relationship with large earthquakes	54

T.Yu. Koroleva. Rayleigh wave velocity maps beneath the Caucasus through the joint use of data from various seismic networks	55
L.N. Koroletski, I.P. Gabsatarova, A.I. Klynchin. Tuapse activation in May 2023	56
N.V. Kostyleva, D.V. Kostylev. About nature of the seismic process in the area of active coal mining on Sakhalin island from detailed observations	57
N.V. Kostyleva, D.V. Kostylev, T.A. Fokina. To the 50th anniversary of seismic activity monitoring in the storage area of the Zeya HPP	58
E.E. Kosyakina, A.V. Liseikin, P.V. Gromyko, V.S. Seleznev. Control of the technical condition of pile-type engineering structure on permafrost soils according to seismic monitoring	59
G.G. Kocharyan, A.M. Budkov. Development of a damaged zone near a seismogenic fault	60
A.S. Kulyandina. Fractal features of the spatial-temporal distribution of seismicity of the Lena River Delta and their relationship with geophysical fields	61
S.V. Kurtkin, E.I. Alyoshina, Yu.V. Gabdrakhmanova, L.I. Karpenko, V.V. Atrokhin. Representativeness of earthquakes and modernization of equipment in the North-East RF	62
A.A. Lebedev, I.A. Zueva. Regional seismic network of Karelia	63
A.V. Liseikin, V.S. Seleznev. Control of destructive processes at HPPs by low-amplitude seismic signals	64
E.V. Lisunov, S.V. Gorozhancev. To the question of operational determination of the mechanism of a tsunamic earthquake with the use of gravimetric data	65
I.Yu. Lobodenko, S.B. Kishkina, E.G. Bugaev. The analysis of the parameters of man-made earthquakes in NPP site safety analysis	66
V.S. Lyutikova, I.N. Litovchenko. Physical and mathematical criteria for recognizing earthquake swarms in the seismicity of the Northern Tien Shan and adjacent territories	67
Kh.D. Magomedov, O.A. Asmanov. About the Gunib earthquake on December 8, 2022	68
E.O. Makarov, V.E. Gluhov, I.P. Gluhova. Creation and development a network of tiltmeter stations on Kamchatka (2020-2022)	69
A.A. Makarov, B.M. Kozmin. Seismicity of the Timpton-Uchur block (Southern Yakutia)	70
G.A. Mambetova, M.O. Omuraliev. Earthquake manifestation sequence in Kyrgyzstan and adjacent areas in 2022	71
F.Z. Mehdizade. On hydro-geological and geomorphological factors affecting the level of seismic hazard in seismically active areas in Baku city	72
A.M. Milekhina. Possibility of detection of gas emission funnels based on seismic data	73
Ya.A. Mikhailova. Identification of swarm seismicity on Hakkel ridge by cluster analysis	74
A.V. Mikheeva, I.I. Kalinnikov. On the impact of a possible deep fault on strong earthquakes in Indonesia	75
M.A. Mkrtchyan, B.V. Sahakyan, J.K. Karapetyan, E.G. Geodakyan, S.M. Hovhannesyan. On the activation of the seismicity of Armenia, associated with the occurrence of strong earthquakes in the Caucasus	76
B.D. Moldobekov, Sh.E. Usupaev, A.K. Sharshebaev, T. Altynbek u., P.A. Imanalieva. On-line engineering network for warning of seismic disasters in Kyrgyzstan	77
A.N. Morozov, N.V. Vaganova, Y.A. Mikhailova, E.R. Morozova, I.V. Starkov. Earthquake swars as evidence of volcano-tectonic processes on the Gakkel Ridge in the Arctic	78
A.N. Morozov, S.D. Ivanov, A.D. Zavyalov, I.M. Aleshin, K.I. Kholodkov. Modified MEE method: Calculation of retrospective statistical characteristics of prognostic features	79
A.Yu. Motorin, S.V. Baranov, P.N. Shebalin. Spatial distribution of blasts-triggered seismic events, Khibiny NTS on the example	80
V.V. Mokhova. Mathematical modeling of the seismic effect in the center of a mass industrial explosion	81
Zh.Z. Muratalieva, Zh.K. Kalysova. Features of the distribution of earthquakes for 2020-2022 in the zone of strong catastrophic earthquakes of the Northern Tian-Shan	82

Sh.Yu. Murodkulov. Seismicity and seismic hazard estimation of the Lake Sarez area	83
L.I. Nadezhka, I.N. Safronich. On the attenuation of seismic energy of industrial explosions and the determination of the length of events	84
S.B. Naumov. Seismicity of the Prikhankai lowland during its flooding	85
M.Yu. Nesterenko. Development of a seismic stations network in the Orenburg region	86
N.N. Noskova, F.G. Verkholyantsev, R.A. Dyagilev. Macroseismic field of the Vyatka earthquake on August 13, 1897	87
K. Omurbek k., K.E. Abdrakhmatov, M.O. Omuraliev, A.M. Omuralieva. Manifestation of seismic gaps of $K \geq 8$ earthquakes within the territory of the Kumtor gold mine during its development in 1995-2022	88
R.A. Pashayan, J.K. Karapetyan, L.V. Harutyunyan, K.G. Tovmasyan. Seismotectonic activity of source zones of earthquakes in Northern and Central Armenia	89
M.S. Petrishchev, Yu.A. Kopytenko, P.A. Sergushin, V.S. Ismagilov, S.S. Khusomiddinov, V.R. Yusupov. Analysis of electromagnetic disturbances in connection with tectonic processes in the vicinity of Yangibazar observatory	90
N.V. Petrova, A.D. Kurova. About the magnitudes used in the equations for calculating the seismic energy and the macroseismic field	91
N.V. Petrova, V.A. Saltykov. Seismic regime features of the source zone of Kenekesir earthquake of October 12, 2015, $M_w=5.2$, in Western Kopetdag	92
R.S. Pivovarov, M.A. Efremenko, S.P. Pivovarov. On the method of interpretation of complex recordings of local seismic events on the territory of the Voronezh Crystalline massif	93
S.P. Pivovarov, M.A. Efremenko, R.S. Pivovarov. Magnitude corrections of technogenic seismic events on the territory of the Voronezh Crystalline massif	94
P.O. Polianskii, A.F. Emanov, A.A. Emanov, Yu.A. Vinogradov, E.V. Shevkunova. Seismic impact on construction engineering facilities in Western Siberia	95
B.V. Sahakyan, M.A. Mkrtchyan, R.K. Karapetyan, A.G. Sekhposyan. Identification of areas of preparation of strong earthquakes on the territory of Northern Armenia	96
V.A. Saltykov. Spatial-temporal features of completeness for Kamchatka earthquake catalogue	97
I.N. Safronich. The feature of the choice of seismic equipment for monitoring the territory of the Voronezh Crystalline massif	98
I.A. Sdelnikova, A.A. Sayapina, Yu.V. Gabsatarov, I.S. Vladimirova. Spatio-temporal variations of modern movements and deformations of the Earth's crust of the North Caucasus from GNSS data	99
V.S. Seleznev, A.V. Liseikin, I.V. Kokovkin. Seismic monitoring method "DISKONT"	100
A.E. Semenov, I.T. Ezhova, O.E. Ivankov. Spatial correlation of regional features of gravitational field and distribution of earthquake epicenters	101
A.E. Semenov, M.A. Efremenko, E.V. Semenova. About location accuracy of seismic events on the territory of the VCM	102
P.A. Sergushin, M.S. Petrishchev, P.E. Tereshchenko, Yu.A. Kopytenko, V.S. Ismagilov, S.S. Khusomiddinov, V.R. Yusupov. Possibilities of application the geophysical complex "OCHAG-1" for earthquake prediction	103
N.A. Serezhnikov, A.A. Emanov, A.F. Emanov, V.M. Soloviev, P.O. Polyansky. Spectral-correlation features of wave fields of explosions with close coordinates	104
I.A. Sizask. Database of microseismic noise variations on the territory of the Voronezh crystalline massif	105
K.Yu. Silkin. Seismic fingerprints: a new approach to the processing and interpretation of seismological records	106
I.N. Sokolova, I.P. Gabsatarova, E.A. Babkova. Earthquake on April 25, 2023 in the northeastern Caspian region (Western Kazakhstan)	107

V.M. Soloviev, V.S. Seleznev, A.F. Emanov, A.A. Emanov, S.A. Elagin, N.A. Serezhnikov, N.A. Galeva. Vibroseismic monitoring of the environment of sites of large economic facilities in the vicinity of Novosibirsk	108
R.E. Tatevossian, N.G. Mokrushina. Earthquake on September 11/23, 1888, in North-Anatolian Fault system	109
N.E. Tahlatli, G.I. Bakdamirova, T.C. Yusifova. Influence of modern geodynamics on mud volcano activation	110
S.A. Tikhonov, E.O. Makarov, D.V. Chebrov. The concept of an upgraded system for monitoring subsurface gases in the area of the Petropavlovsk-Kamchatsky geodynamic polygon	111
Ts.A. Tubanov, A.N. Besedina, P.A. Predein. Regional features microseisms and earthquake spectra of the Baikal Rift	112
T.A. Tubanov, P.A. Predein, A.N. Besedina. Data quality analysis for seismic stations in the central part of the Baikal Rift	113
O.A. Usoltseva, V.M. Ovtchinnikov. Characteristics of PcP and PKiKP waves under Central Asia	114
O.A. Usoltseva, I.A. Sanina. Correction of seismic event coordinates and quality factor estimation for the Murmansk region of the RF	115
A.V. Fedorov, V.E. Asming, S.V. Baranov, I.S. Fedorov, A.I. Voronin. Observations of the Blomstrand glacier activation in the north of Western Spitsbergen Island by the single seismic station data	116
A.S. Fomochkina, A.I. Filippova. Source parameters of strong earthquakes in Alaska in 2020-2021	117
A.S. Fomochkina, A.I. Filippova. Building a model of the 2013 Ilin-Tass earthquake from surface wave records	118
L.A. Khamidov, F.R. Artikov, S.G. Anvarova, B.R. Ganieva. Distributions of earthquakes focus in faults near large reservoirs in Uzbekistan	119
Kh.L. Khamidov, F.I. Ibrogimov, N.M. Muhammadkulov. Implementation of the methodology for determining the oscillation frequencies of dams and coastal slopes of reservoirs	120
D.V. Chebrov. Sistem of monitoring and forecasting of natural disasters (earthquakes, tsunamy and volcanic activity) in Kamchatka	121
A.S. Chemarev, E.A. Matveenکو. Seismological data information system of Kamchatka Branch of the GS RAS in 2023	122
T.V. Chivieva, P.V. Gromyko, V.S. Seleznev. A method of localization of a technogenic signal source as a result of the analysis of records stationary seismic stations of the North Ossetian Branch of the GS RAS	123
A.A. Shakirova, V.A. Saltykov. Variations in the slope of the earthquakes recurrence graph in the Tonga subduction zone in 2005-2022	124
U.A. Sharifov, R.U. Dzhuraev. Seismic monitoring of the Tajikistan territory	125
D.Yu. Shulakov, A.S. Muryskin. Integration of mine and surface seismological observations in the conditions of the Verkhnekamskoye salt deposit	126
Section "Research in related fields of science"	
N.K. Gayday. Educating industry professionals amidst turbulence, uncertainty, and change. New competencies?	127
I.Yu. Lobodenko, L.M. Fihieva. Application of a complex of geophysical studies in the area and at the site of the Nuclear Power Plant in justification of characteristics of tectonic activity	128
Sh.E. Usupaev. Noospheric seismogeonomy of earthquake prediction in the Geoid paleostrength theory	129
Appendix 1. Official names of organizations reducing	130
Appendix 2. Data on authors	134

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ.
ТЕЗИСЫ XVII МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ**

Ташкент, Республика Узбекистан, 11–15 сентября 2023 г.

Подготовка и издание сборника осуществлены при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>)

Отв. редактор: член-корреспондент РАН А.А. Маловичко

Редактор, компьютерная верстка: С.Г. Пойгина
Корректор: С.В. Бутырина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
249035, г. Обнинск, Калужская обл., пр. Ленина, д. 189.
Тел.: 8-484-393-14-05, 8-495-912-68-72. E-mail: frc@gsras.ru

Подписано в печать 10.07.2023 г.

Формат 60×90/8. Тираж 200 экз.

Усл. печ. л. 19.5.

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