

ЛИТЕРАТУРА

1. Закатов, П.С. Курс высшей геодезии / П.С. Закатов. – М. : Недра, 1964. – 504 с.
2. Огородова, Л.В. Высшая геодезия. Ч. III. Теоретическая геодезия : учеб. для вузов / Л.В. Огородова. – М. : Геодезкартиздат, 2006. – 384 с.
3. Бурачек, В.Г. Автоматизированная система точного геодезического контроля деформаций инженерных сооружений / В.Г. Бурачек, Т.Н. Малик, О.В. Лиховолов // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В.С. Шварцфельда. – Хабаровск : ДВГУПС. – 2015. – Вып. 3. – С. 86–98.
4. Бурачек, В.Г. Автоматизований пристрій визначення астрономічних координат / В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, І.М. Коберник // Вісн. астроном. шк. – 2012. – Т. 8, № 1–2. – С. 62–65.
5. Пристрій визначення відхилень прямовисних ліній : пат. України № 104179 від 10.01.2014, бюл. № 1 // В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, В.А. Іванишин, І.М. Коберник ; Власн. Чернігів. держав. ін-т економіки та управління.

METHODS OF DETERMINING THE NORMAL HEIGHT

**V. BURACHEK, V. BOROVOI,
T. MALIK, I. KOBERNIK**

The report presents a methods for determination of normal height, which is implemented with automated astronomical instrument and GNSS, instrument which measures astronomical and geodetic coordinates of the working astronomical point.

Keywords. *Normal height, astronomical instrument, astronomical coordinate, geodetic coordinate.*

УДК 550.34(476)

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**д-р физ.-мат. наук А.Г. АРОНОВ,
канд. геол.-минерал. наук Т.И. АРОНОВА,
канд. физ.-мат. наук Р.Р. СЕРОГЛАЗОВ, В.А. АРОНОВ**
(Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси)

Сейсмологический мониторинг, как составная часть Республиканской системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций

природного и техногенного характера Республики Беларусь и Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь, осуществляется в целях слежения за проявлением местной, региональной и глобальной сейсмичности; оценки сейсмической обстановки и степени сейсмических воздействий как в целом на территории Беларуси, так и в местах расположения особо ответственных объектов промышленного и гражданского назначения (АЭС, гидротехнические сооружения, высотные здания и др.).

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмическая станция, мониторинг, землетрясение, опасность, параметры, магнитуда, эпицентр, очаг.

Одними из наиболее опасных природных явлений являются землетрясения. Помимо своего прямого разрушительного воздействия землетрясение может стать причиной экологической катастрофы на территориях, где расположены гидроэлектростанции, промышленные предприятия производящие или перерабатывающие опасные химические вещества, особо опасные объекты АЭС и др. Сильное землетрясение – это достаточно продолжительный геодинамический процесс со стадиями подготовки, реализации события и последствий. Процесс подготовки и реализации сейсмического события охватывает не только отдельный участок литосферы, но и гидросферу (в основном подземную ее часть), биосферу, атмосферу и даже ионосферу. Любое, а тем более крупное землетрясение, не может считаться точечным в пространственно-временной среде и изолированным событием, и должно рассматриваться как длительный процесс: нарушение и последующее восстановление упругих деформаций в ходе долговременных процессов в обширных объемах природной среды. Именно в таком аспекте следует рассматривать сейсмические явления с экологической точки зрения. За последние десятилетие экономические потери от землетрясений возросли на порядок, и достигают сотен миллиардов долларов за десятилетие.

Развитие системы сейсмологического мониторинга в Беларуси. Инструментальные наблюдения в Беларуси начались в 1965 г., после строительства первой геофизической обсерватории в Плещеницах [1–3]. Современная сеть наблюдений осуществляет мониторинг сейсмичности, как на территории Беларуси, так и за ее пределами. Сейсмологический мониторинг в Беларуси проводится на следующих уровнях: глобальном, региональном и локальном. Глобальный и региональные уровни мониторинга обеспечивают сейсмические станции в составе геофизических обсерваторий «Плещеницы» и «Нарочь», региональный и локальный – Солигорская локальная сеть (8 сейсмических станций: «Волаты», «Терушки»,

«Устронь», «Чижовка», «Капацевичи», «Новый луг», «Махановичи», «Листопадовичи»), расположенная в районе Старобинского месторождения калийных солей, и Островецкая локальная сеть (7 сейсмических станций: «Бояры», «Градовщина», «Вадатишки», «Селище», «Горная Каймина», «Воробьи», «Литвяны»), расположенная в районе строительства Белорусской АЭС. Технические средства наблюдений состоят из измерительного оборудования (датчики) – сейсмометров фиксирующих движения почвы, возникающих в результате распространения сейсмических волн, и регистрирующего оборудования – компьютеризированной аппаратуры, обеспечивающей регистрацию сигналов от сейсмометров, их контроль и метрологию.

В процессе обработки данных производится выделение телесеизмических, региональных и местных (локальных) событий. На основе методов численного, статистического и спектрального анализа осуществляется интерпретация сейсмических событий, определение времени развития события в очаге, координат эпицентра, глубины очага и его энергетический уровень. По результатам многолетних наблюдений и обработки данных получены уникальные инструментальные записи сильных землетрясений Земли, определены их кинематические и динамические параметры. Первичный фактографический материал и результаты его обработки системно размещаются в специально созданных базах данных, являющихся основой для сейсмологических, сеймотектонических, геолого-геофизических исследований.

Система сейсмологического мониторинга включает непрерывные круглосуточные наблюдения, обработку и анализ полученных результатов, контроль за происходящими сейсмическими событиями естественного и искусственного происхождения в широком диапазоне энергий и расстояний. Структурой системы сейсмологического мониторинга предусматривается для решение следующих основных задач: управление и информационно-техническое обеспечения процессами сбора, обработки, анализа и представления данных мониторинга; унификация и стандартизация протоколов обмена и форматов данных; создание и актуализация баз данных; обеспечение государственных органов и других заинтересованных органов информацией о сильных сейсмических событиях, произошедших в регионе; обеспечение обмена информацией с аналогичными организациями сопредельных стран и международными центрами данных.

Результаты сейсмологических наблюдений. На территории Беларуси локальные сейсмические наблюдения проводятся в зоне сочленения северо-западной части Припятского прогиба и Белорусской антеклизы в районе Старобинского месторождения калийных солей. На этой территории инструментально с 1983 г. по настоящее время зарегистрировано 1441

местное сейсмическое событие в диапазоне магнитуд $M = 0,3-3,1$, из которых пять землетрясений, имели ощутимый характер: 1978 г. (д. Кулаки, $M = 3,0$), 1983 г. (н.п. Повстынь, $M = 2,8$), 1985 г. (г. Глуск, $M = 3,1$), 1998 г. (п. Погост, $M = 1,9$ и $M = 0,8$) [1–3]. Сейсмические события, зарегистрированные в Солигорском горнопромышленном районе, следует отнести к индуцированной сейсмичности, поскольку ее возникновение произошло под воздействием техногенных деформационных процессов. Сейсмотектонические исследования выявили закономерности взаимосвязи пространственно-временного распределения сейсмичности с возникающими напряжениями земной коры в районах разработки месторождения калийных солей. Сейсмические события приурочены к существующим в регионе разломам и проявляются как в контуре шахтных полей, так и за его пределами. Анализ результатов сейсмологических исследований показывает, что основными причинами, вызывающими возникновение сейсмической активности в районе месторождения, являются как наличие области, ослабленной подземными выработками, так и действие региональных тектонических сил.

Островецкая локальная сеть сейсмологических наблюдений, развернута в районе расположения площадки строительства Белорусской АЭС с 2008 года. Задачи, структура и характеристики этой локальной сети были определены на основе изучения геолого-геофизических условий, составления сейсмотектонической карты района расположения площадки АЭС с выделенными зонами возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) и определением параметров этих зон, расчетом сейсмических воздействий как от ближайших зон ВОЗ, так и от сильных землетрясений, в том числе из глубокофокусной зоны в горах Вранча, в Восточных Карпатах на территории Румынии. Островецкая сеть имеет высокую чувствительность и разрешающую способность. За период наблюдений по настоящее время зарегистрировано более 35000 сейсмических событий, в том числе почти 4000 далеких землетрясений с магнитудой $M \geq 4,0$ и свыше 1200 региональных сейсмических событий с магнитудой $M \geq 3,0$.

На региональном уровне сетью сейсмических станций Беларуси зарегистрировано более 11000 землетрясений на территории Европы и смежных областях. Распределение всех зарегистрированных землетрясений для последовательных интервалов магнитуд на разных глубинах показало, что основная масса очагов землетрясений имеет глубины $h \leq 70$ км, для 287 землетрясений очаги находились в диапазоне глубин 71–390 км и только 7 землетрясений произошли на глубинах $h \geq 391$ км, глубокофокусные очаги, которых приурочены к зоне субдукции. Землетрясения с небольшой магнитудой $M \leq 5,0$ практически происходят на всей территории Европы. При этом многие события имеют ощутимый характер, но без раз-

рушительного эффекта на поверхности. В регионе самое сильное (катастрофическое) землетрясение с $M = 7,4$ произошло 17 августа 1999 г. в 00^h01^m (UTC) в Турции. Это было одно из сильнейших землетрясений в Турции, в результате, которого погибли 17 000 человек, ранено 50 000 и остались без крова 500 000 человек. Землетрясение ощущалось по всему Черноморскому побережью. Тип движения в очаге представляет сдвиг по обеим плоскостям разрыва. На Европейском континенте наибольшая часть сейсмической энергии выделилась в Альпийском сейсмоактивном поясе, оставшаяся на внутриконтинентальной и прибрежной территориях. Глобальная составляющая сейсмотектонической активности в этом регионе определяется близостью к мощному Азорско-Средиземноморско-Альпийско-Трансазийскому сейсмогенному поясу, образовавшемуся вследствие столкновения крупных Африканской, Индийской и Евразийской тектонических плит.

На телесеismicком уровне сетью сейсмических станций Беларуси, из числа произошедших на земном шаре за период 1966–2015 гг., зарегистрировано и обработано почти 53000 землетрясений. Из них произошло 36 катастрофических землетрясения с магнитудой $M \geq 8,0$. Самое сильное катастрофическое землетрясение с $M = 9,1$ произошло 26 декабря 2004 г. в 00^h58^m (UTC) на западном побережье северной Суматры, Индонезия. Последующие землетрясения (афтершоки) возникали вдоль единого тектонического разлома. Движение в очаге землетрясения возникло под действием близких по величине сжимающих напряжений, ориентированных в юго-западном направлении и растягивающих, ориентированных в северо-восточном направлении. Тип движения по плоскостям разрыва взбросо-надвиг. Первый толчок потряс северную часть острова Суматра, затем по цепочке толчки фиксировались до Никобарских и Андаманских островов. От них в разные стороны разошлась мощная приливная волна. Волны цунами высотой до 10 метров обрушилось на побережье Шри-Ланки, Индии, Индонезии, Таиланда, Малайзии. Общее число жертв пострадавших в результате землетрясений и цунами превысило 230 тысяч человек. В основном такие землетрясения приурочены к областям высокой современной тектонической активности и связаны с конвергентными или дивергентными границами литосферных плит, где происходит либо сжатие и поглощение океанской коры в зонах субдукции, либо растяжение континентальной коры. В этих регионах непрерывно накапливаются тектонические напряжения, разрядка которых происходит за счет возникновения землетрясений. Наибольшая сейсмическая активность Земли наблюдалась в Тихоокеанском, Трансазиатском, Атлантическом и Индийском сейсмическом поясе.

Взаимодействие систем сейсмологических наблюдений телесеismicких, региональных и локальных уровней Беларуси, стран Балтии

и Скандинавии позволило в свое время оперативно локализовать эпицентры серии Калининградских землетрясений в сентябре 2004 года с магнитудой 3,0–5,1 [4, 5]. Для определения пространственно-временных координат гипоцентров в режиме близком к реальному времени были привлечены все доступные на тот момент времени данные относительно близких к эпицентральной зоне станций. Оперативный международный обмен цифровыми записями землетрясений позволил своевременно передать информацию всем заинтересованным пользователям, как в Беларуси, так и за ее пределами. Калининградские землетрясения, произошедшие в западной части Восточно-Европейской платформы, привели к необходимости изучения сейсмичности платформенных территорий для оценки степени сейсмической опасности и активизировали развитие сети сейсмического мониторинга в регионе.

Современная сеть сейсмологического мониторинга Беларуси интегрирована в глобальную структуру системы наблюдений. Такая интеграция существенно расширяет возможности и повышает эффективность национальной сети, позволяет производить оперативный обмен данными, повышает точность определения параметров землетрясений. При этом, система сейсмологического мониторинга структурно организованная на различных масштабных уровнях, которые функционально и технически согласованы между собой, является наиболее эффективным подходом для оперативного контроля сейсмической обстановки и оценки степени сейсмической опасности.

Проведенные исследования позволили оценить степень сейсмической опасности и уровень возможных сейсмических воздействий для территории Беларуси и сопредельных регионов. Для территории Беларуси максимальный уровень сейсмической опасности от местных и региональных землетрясений ограничен магнитудой $M \leq 5.0$, а верхний порог сейсмических воздействий не превосходит VII баллов по 12-балльной шкале MSK-64.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов, А.Г. Сеть сейсмических станций Беларуси / А.Г. Аронов, Р.Р. Сероглазов, Т.И. Аронова // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы : в 2 кн. – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2007. – Кн. 1 : Землетрясения. – С. 350–353.
2. Aronov, A.G. Seismicity of Belarus / A.G. Aronov, R.R. Seroglazov, T.I. Aronova // Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica. – 2010. – Vol. 45, № 3 (September) – P. 324–339.
3. Аронов, В.А. Структура информационных уровней системы сейсмологического мониторинга в Беларуси / В.А. Аронов // Могилевский меридиан. – 2014. – Т. 14, № 1–2 (24–25). – С. 12–16.

4. Aronov, A.G. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004 / A.G. Aronov [et al.] // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2007. – Vol. 164. – P. 63–74.
5. Аронов, А.Г. Сейсмотектонические критерии долгосрочного прогноза Калининградских землетрясений / А.Г. Аронов, Т.И. Аронова // Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года / А.Г. Аронов [и др.] ; отв. ред. А.В. Николаев. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – С. 136–150.

SYSTEM OF SEISMOLOGICAL MONITORING IN CURRENTLY USED IN THE REPUBLIC IN BELARUS

A. ARONOV, R. SEROGLAZOV, T. ARONOVA, V. ARONOV

Seismological monitoring as a part of the State system of monitoring and forecast of natural and technogeneous emergency situations in the Republic of Belarus and of the National system of environmental monitoring in the Republic of Belarus is carried out in order to monitor the local, regional and global seismicity, to assess the seismic conditions and degree of seismic effects both in the territory of Belarus as a whole, and in sites where critical industrial and civil objects (NPP's, waterworks, high-rise buildings, etc.) are located.

Keywords: *seismicity, seismic station, monitoring, earthquake, hazard, parameters, magnitude, epicenter, focus*

УДК 528

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН МИИГАиК ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КАЛИБРОВКИ И СЕРТИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

д-р техн. наук, проф. А.Г. ЧИБУНИЧЕВ,

канд. техн. наук, доц. А.В. ГОВОРОВ,

канд. техн. наук, доц. В.М. КУРКОВ, А.В. СМИРНОВ

*(Московский государственный университет геодезии и картографии,
Россия)*

Рассмотрен опыт работы на испытательном геополигоне МИИГАиК по тестированию и сертификации аэрофотосъемочных комплексов на базе пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Дано описание и приведены характеристики испытательного полигона. описа-