

УДК 550.34: 504.5.06

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАЙОНОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ – ОСНОВА СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ^{1, 2)} Надёжка Л.И., ¹⁾ Колесников И.М., ^{1, 2)} Семёнов А.Е.¹⁾ *Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук, Воронеж, Россия*²⁾ *Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия*

На примере районов размещения Курской и Нововоронежской АЭС показана эффективность сейсмологического мониторинга Воронежской сетью станций (VMGSR), регистрирующей сейсмические события, начиная со 2-го энергетического класса. Результаты сейсмологического мониторинга позволяют оптимально и достоверно оценить сейсмические и сейсмотектонические условия и их стабильность в районах размещения атомных станций.

Многие атомные станции проектировались и строились более 50 лет назад без учета фактических сейсмических и сейсмотектонических условий района их размещения. Основанием для оценки сейсмических условий служила карта общего сейсмического районирования территории СССР выпуска 1978 г. (СР-78), которая создана в то время, когда было широко распространено мнение об асейсмичности и стабильности платформенных территорий. Выполненная в ряде случаев специальная оценка сейсмичности по косвенным данным, как правило, являлась приближенной и иногда варьировала в широких пределах. Так, оценка сейсмичности площадки Нововоронежской АЭС по данным разных организаций изменяется от 4,0 баллов до 7,0 баллов.

В последние годы представление о сейсмичности платформенных территорий существенно изменилось. Получены фактические инструментальные данные о сейсмических событиях, происходящих на территории платформы, которые существенно меняют отношение к оценке сейсмических и сейсмотектонических условий размещения атомных станций. Повышение достоверности оценки сейсмических и сейсмотектонических условий районов размещения атомных станций в настоящее время особенно актуально потому, что продлеваются сроки функционирования блоков ряда атомных станций на значительный временной промежуток (до 50 лет), строятся новые блоки.

Сейсмологические инструментальные исследования на территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) начаты с организации сейсмической станции «Воронеж» в декабре 1996 г. [1]. В настоящее время в регионе функционируют 15 сейсмических станций, пять из которых составляют региональную сеть и входят в федеральную сеть сейсмических наблюдений, остальные образуют две локальные сети, осуществляющие контроль сейсмических условий районов размещения Курской и Нововоронежской АЭС – VMGSR (рисунок 1).

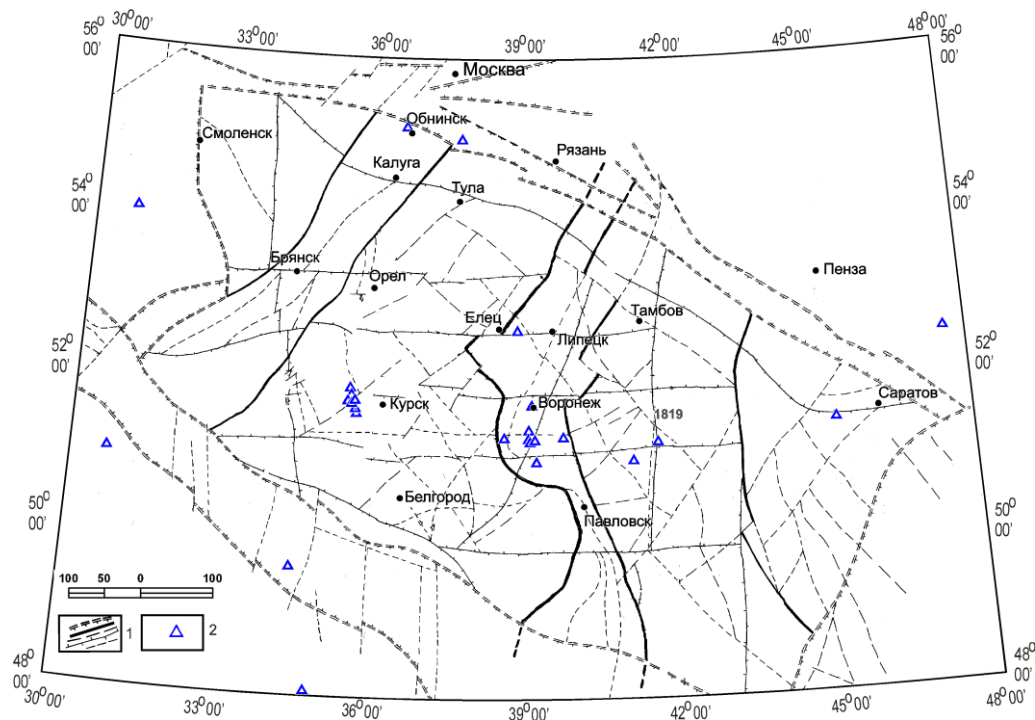
Сейсмические станции региональной и локальных сетей оснащены, в основном, регистраторами

UGRA, сейсмоприемниками СМ-3КВ и СМ-3ОС [2, 3] и установлены на глубине 1,5–2 м в подвалах, вынесенных за пределы жилых построек. В каждом из подвалов оборудование размещено на обустроенных постаменты. Для всех сейсмических станций выполнен детальный анализ геологических и геофизических условий района их размещения, изучены детально помехи, влияющие на характер сейсмического шума. Так, например, установлено, что наиболее значительные помехи, осложняющие регистрацию полезных сигналов, создают транспортные средства и, в частности, движущиеся железнодорожные составы. На рисунке 2 приведен пример записи помех от движения железнодорожных составов, показывающий, что скорость смещения частиц грунта и длительность помехи в волновом поле определяется количеством вагонов в составе, их загрузкой и скоростью движения.

Ежегодно сетью станций регистрируется в среднем около 2000 телесеизмических землетрясения с магнитудой 4,0 и более (рисунок 2). Как видно из этого рисунка, записи регистрируемых телесеизмических землетрясений позволяют выделить все типы волн.

Продолжительность повышенного уровня шума, затрудняющего регистрацию местных сейсмических событий, составляет от 4 до 22 мин, при времени прохождения состава мимо наблюдателя (от первого до последнего вагона 50–80 с). Сейсмическая станция регистрирует помехи от груженого товарного состава на расстоянии до 10 км. Скорость колебаний частиц грунта при транспортных помехах может достигать 70 мкм/с при естественном фоне (МСШ) 0,02–0,03 мкм/с. Спектральные амплитуды колебаний, вызванных движением поездов, в диапазоне частот от 1,0 до 2,0 Гц, имеют превышение над спокойным фоном на 1–2 порядка

Для выполнения сейсмологического мониторинга площадки и района размещения АЭС были организованы двухуровневые локальные сети, состоящие каждая из 9 сейсмических станций, часть которых входит в федеральную сеть.



1 – тектонические нарушения различного ранга; 2 – сейсмические станции Воронежской сети и региональные станции, данные которых используются для локализации очагов сейсмических событий

Рисунок 1. Тектоническая схема кристаллического фундамента ВКМ и расположение сейсмических станций сети мониторинга (СМ ВКМ)

Первый уровень сети составляют 4 станции, которые располагаются на расстоянии 4–9 км от площадки, и одна станция – на площадке. Такая конфигурация позволяет регистрировать сейсмические события, начиная с магнитуды 0,5. Второй уровень локального мониторинга обеспечивают также 4 станции на расстоянии 40–60 км от площадки. В целом, созданная конфигурация сети позволяет регистрировать сейсмические события в ближней зоне с магнитуды 0,5 и выше, а в дальней зоне ($R \geq 40$ км), начиная с магнитуды 1,0.

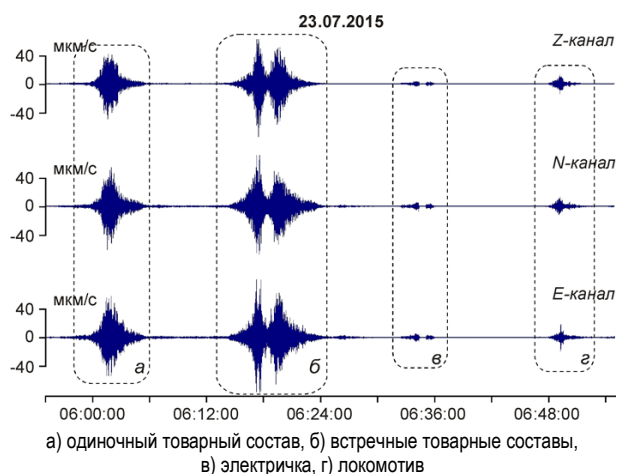


Рисунок 2. Фрагмент 3-х компонентной записи волнового поля помех на сейсмической станции «Дивноегорье» от движения железнодорожных составов

Конфигурация локальных сетей, сейсмический шум в районе размещения сейсмических станций позволяют регистрировать сейсмические события, начиная со 2 и ниже энергетического класса на расстоянии до 10 км. На рисунке 3 приведены результаты анализа экспериментальных данных за период 2000–2017 гг.

Ежегодно локальными сетями станций регистрируется в среднем около 2000 телесейсмических землетрясения с магнитудой 4,0 и более (рисунок 4). Как видно из этого рисунка, записи регистрируемых телесейсмических землетрясений позволяют выделить все типы волн.



Рисунок 3. Экспериментальная зависимость энергетического класса от расстояния по данным сейсмической сети VMGSR

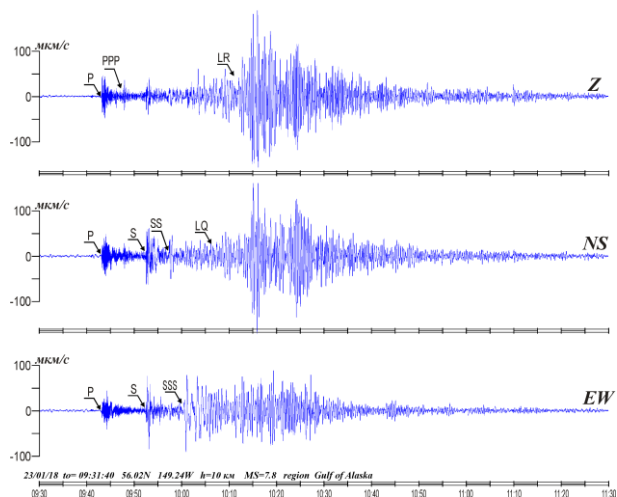


Рисунок 4. Пример записи телесейсмического землетрясения на станции Курской локальной сети

Ежегодно регистрируется также несколько местных землетрясений, эпицентры которых, в основном, приурочены к зонам динамического воздействия тектонических нарушений, и к сейсмически активным зонам, в частности, к Лискинской сейсмически активной зоне. Часть эпицентров землетрясений приурочена к базит-ультрабазитовым интрузиям. Анализ пространственного положения эпицентров местных землетрясений показал, что их распределение хорошо увязывается со структурными и вещественными неоднородностями не только кристаллической коры, но и верхов мантии. Временное распределение выделившийся сейсмической энергии показывает квазипериодический характер современной сейсмической активности (рисунок 5).

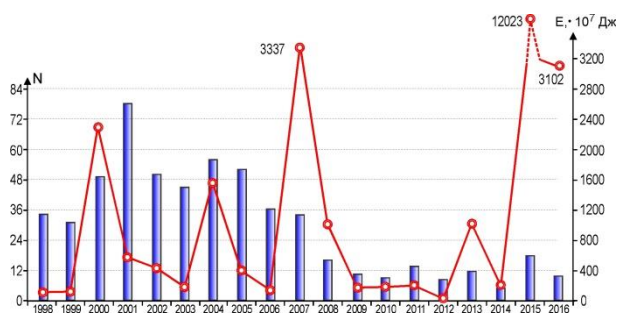


Рисунок 5. Распределение количества землетрясений и энергии по годам для ВКМ и ближайшей территории

ЛИТЕРАТУРА

1. Маловичко, А.А. 20 лет сейсмологическим наблюдениям на территории Воронежского кристаллического массива / Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов / А.А. Маловичко, О.Е. Старовойт, Н.М. Чернышов, Л.И. Надежка // Материалы XX Всероссийской конференции с международным участием. – Воронеж: из-во «Научная книга», 2016. – С.13–17.
2. Надежка, Л.И. Основные характеристики сейсмологических исследований на территории Воронежского кристаллического массива / Л.И. Надежка, А.Е. Семенов, И.Н. Сафронич, С.П. Пивоваров, А.М. Семенов, М.А. Ефременко // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 244–247.

Из рисунка 5 видно, что наблюдается активизация сейсмического процесса в 2015–2016 гг.

Наблюдательными станциями ежегодно регистрируется более 300 событий, вызванных деятельностью 22 промышленных карьеров на территории ВКМ. Следует отметить, что в регионе функционируют крупнейшие в центральной России карьеры по добыче железной руды. В некоторых из них в процессе короткозамедленного взрыва подрывается 2000 т ВВ. При этом возникает сейсмическое событие 10 энергетического класса. В целом, ежегодно, при проведении промышленных взрывов выделяется сейсмической энергии в несколько раз больше чем при местных землетрясениях. Отмечено, что в ряде случаев влияние промышленных взрывов на геологическую среду площадки АЭС значительно. В этой связи, при проведении сейсмического мониторинга выполняется анализ как тектонической, так и техногенной сейсмичности.

Проводимый сейсмический мониторинг позволяет получать новые данные о фактических сейсмических условиях региона, которые имеют важное прикладное значение при оценке безопасного функционирования экологически ответственных объектов. Опыт проведения сейсмологического мониторинга района размещения Курской и Нововоронежской атомных станций показал, что его результаты могут служить надёжной основой для фактической оценки сейсмических и сейсмотектонических условий. Оптимальная сеть сейсмических станций позволяет регистрировать землетрясения с магнитудой $M \geq 0,5$. Всего за 20 лет наблюдений зарегистрировано более 500 землетрясений, 96 из которых имеют магнитуду $M > 2,0$. Кроме того, в промышленно развитом регионе увеличивается техногенная нагрузка, количество и мощность промышленных взрывов создает дополнительные риски для безопасной эксплуатации объектов атомной энергетики. Ежегодно в районах размещения Курской и Нововоронежской атомных станций регистрируются промышленные взрывы, о которых известно, что они могут быть причиной повышенной сейсмичности.

В целом, сейсмологический мониторинг районов размещения Курской и Нововоронежской атомных станций позволили объективно на текущий момент времени оценить сейсмические и сейсмотектонические условия и стабильность площадок и районов размещения атомных станций.

3. Надежка, Л.И. Некоторые результаты сейсмических наблюдений на территории Воронежского кристаллического массива за 2013–2015 гг. / Л.И. Надежка [и др.] // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы одиннадцатой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 224–227.
4. Дубянский, А.И. О некоторых особенностях энергетических характеристик сейсмических событий на территории Воронежского кристаллического массива / А.И. Дубянский, С.П. Пивоваров, М.А. Ефременко // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы двенадцатой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2017. – С. 151–154.

**АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСЫ ОБЪЕКТІЛЕРІН ОРНАЛАСТЫРУ АУДАНДАРДЫҢ
СЕЙСМОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГІ – ОЛАРДЫҢ ІС-ҚИМЫЛЫНДА
СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІНІҢ НЕГІЗІ**

^{1, 2)} Надёжка Л.И., ¹⁾ Колесников И.М., ^{1, 2)} Семёнов А.Е.

¹⁾ «Ресей ғылым академиясының Бірыңғай геофизикалық қызметі» федераль зерттеу орталығы, Воронеж, Ресей

²⁾ Воронеж мемлекеттік университеті, Воронеж, Ресей

Курск және Нововоронеж АЭС орналастыру аудандарының үлгісінде, 2-інші энергетикалық классынан бастап сейсмикалық оқиғаларды тіркейтін Воронеж сейсмикалық станциялар желісімен (VMGSR) сейсмикалық мониторингтің тиімділігі көрсетілген. Сейсмологиялық мониторингтің нәтижелері атом станцияларын орналастыру аудандарында сейсмикалық және сейсмотектоникалық жағдайларын және олардың тұрақтылығын оңтайлы және анық бағалауына мүмкіндік береді.

**SEISMOLOGICAL MONITORING OF NUCLEAR ENERGY FACILITIES LOCATIONS –
THE BASIS OF THEIR OPERATION SEISMIC SAFETY**

^{1, 2)} L. I. Nadezhka, ¹⁾ I. M. Kolesnikov, ^{1, 2)} A. E. Semenov

¹⁾ Federal research centre “Unified geophysical service of the Russian Academy of Sciences”, Voronezh, Russia

²⁾ Voronezh state University, Voronezh, Russia

Efficiency of seismological monitoring by the Voronezh stations network (VMGSR) that records seismic events starting from the 2nd energy class has been demonstrated at the example of Kursk and Novovoronezh NPP location regions. The results of seismological monitoring allow to optimally and scientifically estimate seismic and seismic-tectonic conditions and their stability in nuclear station locations regions.