
**МЕТОДОЛОГИЯ
И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

УДК 55:504.75:550.348

**ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

© 2015 г. **О. Г. Попова***, **А. Д. Жигалин***, **М. Г. Попов****, **Ф. О. Аракелян*****,
В. В. Неядько***, **Е. В. Лаврик*****

* *Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН;*

Уланский пер., 13, стр.2, Москва, 101000 Россия. E-mail: oksana-p@list.ru

** *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
геологический факультет;*

Ленинские горы, МГУ, Москва, 119991 Россия. E-mail: mgpopov@list.ru

*** *ООО “Атомсейсмоизыскания”;*

Ул. Скаковая 32, кор.2, Москва, 125040 Россия. E-mail: asi_47@mail.ru

Поступила в редакцию 29.01.2015 г.

Приведены результаты использования разработанной авторами методики изучения геодинамических свойств геологической среды с помощью материалов сейсмического мониторинга в районах планирования размещения площадок Нижегородской и Белоярской атомных станций. Определены изменения во времени показателей анизотропности и напряженного состояния среды в пределах изучаемых площадок, а также выявлены участки, на которых могут возникать опасные ситуации в процессе строительства и последующей эксплуатации этих важных энергетических объектов. Сделан вывод о необходимости непрерывного слежения за напряженным состоянием геологической среды при планировании площадок под строительство АЭС в средах разной тектонической активности, особенно в сейсмоопасных регионах.

Ключевые слова: *сейсмический мониторинг, геодинамические показатели, свойства среды, внешние природные факторы, амплитудно-частотные характеристики, микросейсмический фон.*

Изучение локальных полей тектонических напряжений и факторов, определяющих их энергетику, – одна из задач, решение которой, возможно, позволит продвинуться вперед в направлении обеспечения достоверного прогноза опасных природных процессов (землетрясений, оползней, извержений вулканов и др.), предотвращения и минимизации их негативных последствий.

Нахождение правильного решения этой задачи, имеющей значительную геоэкологическую составляющую, необходимо при проектировании, строительстве и эксплуатации энергетически важных объектов (гидравлические (ГЭС) и атомные (АЭС) электростанции). Определяется это тем, что крупные аварии на таких предприятиях чреваты возникновением чрезвычайных ситуаций высокой степени сложности и катастрофических экологических и социальных последствий.

Для оценки геодинамической активности и напряженного состояния геологической (геофизической) среды на объектах, относящихся к

категории объектов особой важности (высокой степени геоэкологического риска), целесообразно осуществлять геофизический и, как частный случай, сейсмический мониторинг.

В статье приведены результаты использования разработанной авторами методики изучения свойств геофизической среды [7] с помощью материалов сейсмического мониторинга от естественных источников в районах планирования размещения площадок ряда атомных станций. Определены изменения во времени показателей анизотропности и напряженного состояния среды в пределах изучаемых площадок, а также выявлены участки, на которых могут возникнуть опасные ситуации в процессе строительства и последующей эксплуатации важных энергетических объектов.

Проанализированы материалы непрерывного сейсмического мониторинга от естественных источников на объектах проектирования площадок

под АЭС в разных регионах Российской Федерации:

1. Площадка проектируемой Нижегородской АЭС. Длительность наблюдений 1 год: – с конца 2010 г. по конец 2011 г. Используются записи далеких землетрясений и микросейсмического фона.

2. Район проектируемой Белоярской АЭС (Средний Урал). Проведены обработка и анализ записей далеких землетрясений и микросейсмического фона для изучения геодинамики среды и влияния внешних природных факторов. Длительность наблюдений 2 месяца – с 16.10.2012 г. по 9.12.2012 г.

3. Участок нового блока Кольской АЭС (АЭС-2), расположенный в 7 км в юго-западном направлении от действующей “Кольской АЭС”. Цель исследований – анализ уровня текущего геодинамического режима и сейсмической активности района размещения АЭС. Время наблюдения с 20.09.2013 г. по 17.11.2013 г. Анализировались записи только микросейсмического фона.

Во всех указанных регионах наблюдения непрерывного сейсмического мониторинга в основном проводились по площадной расстановке. Количество станций наблюдения в зависимости от региона изменялось от 5 до 17. Расстояния между станциями в среднем изменялись от 10 до 17 км. Размеры площадных расстановок в среднем составляли порядка 60 × 70 км. Длительность наблюдений – от 2 месяцев до 1 года. Цель исследований – изучение изменения геодинамики среды во времени и выявление в каждом из указанных регионов участков среды с высокой степенью напряженности, а также влияния наведенных процессов от катастрофических далеких землетрясений на геодинамические параметры.

Следует отметить, что Средний Урал относится к среднесейсмоопасным территориям (Средне-Уральская сейсмоопасная зона), в то время как Нижегородская область – это платформенный регион. Район расположения Кольской АЭС – щит, для которого характерна сейсмическая активизация. Изучение районов Кольской АЭС и Белоярской АЭС интересно еще и в целях изучения северных территорий, особенностей их строения и геодинамики.

Изучение геодинамики среды во всех упомянутых регионах проводилось по методике, опубликованной [7] и представленной в виде стандарта ИГЭ РАН (www.geoenv.ru). Методика основана на том, что энергия поперечных S-волн и обменных

PS-волн существенно зависит от степени трещиноватости, пористости, флюидизации и анизотропных свойств среды, которые в совокупности определяют ее напряженное состояние [3, 12, 13]. Это дает возможность изучать геодинамические характеристики среды и оценивать ее напряженное состояние по энергетическим параметрам обменных проходящих волн PS от далеких землетрясений. Согласно разработанной методике, напряженное состояние среды в некоторой точке пространства оценивается следующими параметрами [7]:

– показателем анизотропности среды (безразмерная величина) под каждой точкой наблюдения: $\gamma = E_R/E_V$, где E_V и E_R – энергия радиальной и тангенциальной составляющих записи PS-волн от далеких землетрясений, соответственно;

– интегральным показателем напряженного состояния среды S (безразмерная величина) в районе наблюдений, определяемым расчетным путем на основе изучения распределения параметра γ по площади наблюдательной сети мониторинга:

$$S = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{\delta}^{\infty} \gamma(x, y) dx dy d\gamma / \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \delta \cdot x \cdot y \cdot dx dy,$$

где x, y – координаты района мониторинга; δ – пороговый уровень γ , превышение которого вызывает на возрастание анизотропных свойств и напряженного состояния среды в районе исследования.

Методика разработана на основании анализа материалов долговременного мониторинга (11 лет наблюдений) в районе Кавказских минеральных вод и апробирована затем для изучения среды в районе проектируемой площадки Северская (Томский полигон) [9], расположенной на слабо сейсмически активной территории – окраине Алтае-Саянской сейсмоопасной зоны.

По результатам изучения геодинамики среды в течение почти 2 лет на площадке под Северскую АЭС [9] показано, что в некоторые интервалы времени на небольших участках изучаемого полигона могут формироваться ограниченные по площади области с повышенными значениями показателя анизотропности среды γ . Их возникновение не сопровождается формированием обширных зон аномального напряженного состояния среды в больших объемах геологического пространства, что свидетельствовало бы об усилении сейсмического риска в окрестностях Томского сейсмического полигона и, следовательно, территории проектируемой Северской АЭС. Однако в некото-

рых случаях появление этих аномальных областей может быть предвестником слабых местных землетрясений с магнитудой порядка $M = 1.4$.

Сопоставление максимальных значений S для Томского полигона и для сейсмоопасного региона Кавминвод показало, что в последнем максимальные значения показателя S в среднем в 10–15 раз превышают те же значения для района проектируемой Северной АЭС (Томский полигон). На основании этого был сделан вывод, что полученные диапазоны изменения γ и S в районе расположения Северной АЭС не свидетельствуют о возможной серьезной опасности для строительства и последующей эксплуатации энергетических и других инженерных объектов особой важности в этом регионе. Такая опасность может возникнуть, однако, в случае дополнительного влияния внешних природных или техногенных факторов [8].

Аналогичный анализ изменения параметров γ и S был проведен для районов площадок под Нижегородскую и Белоярскую АЭС.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН ПОД НИЖЕГОРОДСКУЮ АЭС

Изучение геодинамики среды проводилось на Нижегородском полигоне в течение всего 2011 г., использовали записи далеких землетрясений, которые регистрировались площадной расстановкой сейсмических станций, размещенных на площади размером 60×70 км.

По данным метода обменных волн землетрясений (МОВЗ), среда до глубин 18 км представляет собой моноклираль, без резких градиентов спокойно углубляющуюся в северо-западном направлении. Ожидать, что в такой среде могут отмечаться скачки скоростей, не приходится. Это позволяет предполагать слабую геодинамическую активность изучаемой территории. Важная особенность – наличие в карбонатных отложениях пермского времени закарстованных известняков. Довольно активно развит карст к северу и югу от площадки под планируемую АЭС.

В работах [6, 7] показано, что после далеких катастрофических событий с $M > 7.0$, сопровождаемых интенсивными низкочастотными поверхностными волнами, резко изменяются степень анизотропности и показатель напряженного состояния сейсмоопасной среды, значительно удаленной от эпицентра катастрофического события (удаление до 7000 км). Было сделано предположение, что эти изменения связаны именно с воздействием низкочастотных поверхностных волн.

Изменение напряженного состояния среды, в свою очередь, вызывает усиление сейсмической активизации, которую можно считать наведенной [4]. Так, на Кавминводском полигоне Северного Кавказа в результате влияния наведенных процессов от Суматранского далекого землетрясения было зафиксировано усиление местной сейсмической активности с магнитудами $M > 4.3$ [6, 7]. Следовательно, учет влияния наведенных процессов от катастрофических далеких землетрясений при строительстве и эксплуатации особо важных объектов в сейсмоопасных регионах является насущной задачей.

Вопрос, влияют ли наведенные процессы от далеких катастрофических землетрясений на геодинамику и напряженное состояние платформенной и асейсмической среды, такой как Нижегородский полигон?

Для оценки геодинамических параметров среды (γ и S) Нижегородского полигона весь зарегистрированный материал сейсмического мониторинга был разбит на пять интервалов времени: 1) 15.01.2011–10.03.2011 г.; 2) 11.03.2011–5.04.2011 г.; 3) 10.06.2011–31.07.2011 г.; 4) 1.09.2011–21.10.2011 г.; 5) 21.10.2011–10.11.2011 г. Обработка сейсмического материала охватила три больших периода времени: зима–весна (1-й и 2-й интервалы времени), лето (3-й интервал времени) и осень (4-й и 5-й интервалы времени).

Такое разбиение на интервалы времени обосновывалось тем, что 11.03.2011 г. в Японии произошло катастрофическое Фукусимское землетрясение с цунами ($M = 9.0$), а 21.10.2011 г. в Турции также произошло разрушительное землетрясение с магнитудой $M = 7.1$. Анализ геодинамических параметров γ и S района исследований до катастрофических землетрясений и после них позволил выяснить влияние наведенных процессов на территорию Нижегородского полигона.

На рис. 1 представлены схемы распределения показателя анизотропности γ для Нижегородского полигона в разные интервалы времени. Как видно из рисунка, никакие аномалии параметра γ за весь период наблюдения не зафиксированы. Значения γ варьировали от 0 до 0.8, а значения показателя напряженного состояния S – от 0 до 0.061 (табл. 1), максимальные значения S в 10 раз ниже, чем на Томском полигоне, и, соответственно, в 100 раз ниже, чем на Кавминводском полигоне.

В районе Нижегородского полигона низкочастотные поверхностные волны после Фукусимского землетрясения регистрировались в течение 1 часа.

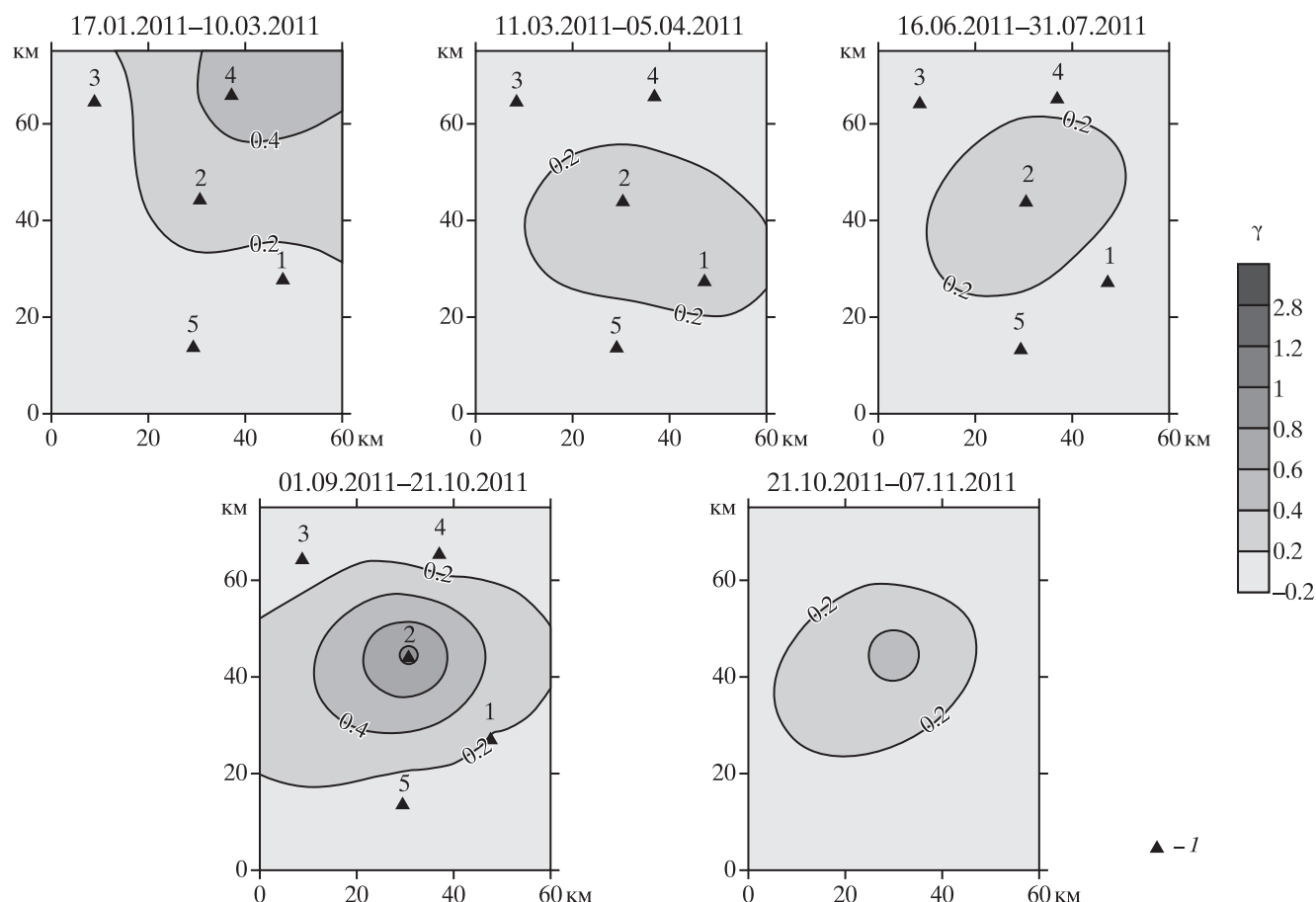


Рис. 1. Распределение показателя анизотропности $\gamma = E_r/E_v$ по площади наблюдения Нижегородского полигона в разные интервалы времени: *I* – пункты наблюдения.

Тем не менее никакого увеличения значений γ и S в среде Нижегородского полигона после японского катастрофического землетрясения не установлено (см. рис. 1, табл. 1). На схеме распределения показателя γ на Нижегородском полигоне в интервале времени 11.03.2011–5.04.2011 г. сразу после Фукусимского землетрясения не были отражены никакие аномалии, значения показателя γ не превышали 0.2. Можно сделать вывод, что среда после “воздействия” поверхностных волн

осталась в очень спокойном состоянии, значение показателя напряженного состояния $S = 0$.

Аналогично не изменились показатели γ и S для территории Нижегородского полигона и после Турецкого разрушительного землетрясения 21.10.2011 г. (табл.1, рис.1).

Следовательно, в платформенной асейсмичной среде влияние далеких катастрофических землетрясений может не проявляться, поскольку, ве-

Таблица 1. Геодинамические характеристики среды (Нижегородский сейсмологический полигон)

Год проведения исследований	Номер интервала обработки	Временные границы интервалов наблюдения	Показатель анизотропности среды $\gamma = E_r/E_v$	Интегральный показатель напряженного состояния среды S
2011	1	15.01.11–10.03.11	0–0.4	0.012
	2	11.03.11–5.04.11	0–0.2	0
	3	10.06.11–31.07.11	0–0.2	0.001
	4	1.09.11–21.10.11	0–0.8	0.061
	5	21.10.11–7.11.11	0–0.4	0.0015

роятно, такие среды имеют другую структуру и большую устойчивость, чем сейсмоопасная среда, такая как в районе Кавминводского полигона.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН ПОД БЕЛОЯРСКУЮ АЭС

Белоярская атомная электростанция расположена в Свердловской области. Это единственная в России АЭС с разными типами реакторов на одной площадке. В 1980 г. был запущен 3-й энергоблок мощностью 600 МВт с реактором на быстрых нейтронах БН-600. В 2012 г. проводилось изучение свойств и геодинамики среды под новый энергоблок. Цель исследований – определить изменение степени анизотропности и напряженности среды во времени, выявить области повышенной напряженности, установить влияние наведенных процессов от катастрофических далеких землетрясений.

Площадка АЭС расположена в пределах Среднеуральской зоны повышенной сейсмичности. По уточненной оценке ИФЗ РАН, интенсивность проектного землетрясения $I_{пз} = 5.6$ балла и максимального разрушительного землетрясения $I_{мрз} = 7.0$ балла для 5-го блока Белоярской АЭС (БАЭС) – средняя оценка максимального возможного землетрясения по модели зон ВОЗ ОСР-97. Ближайшее к площадке БАЭС землетрясение произошло в 1892 г. в п. Сысерть ($M_{max} = 5.5$) на расстоянии 40 км от нее.

Для оценки геодинамики среды весь зарегистрированный материал мониторинга был разбит на пять интервалов времени: 1) 16.10.2012–27.10.2012 г.; 2) 27.10.2012–10.11.2012 г.; 3) 11.11.2012–26.11.2012 г.; 4) 26.11.2012–6.12.2012 г.; 5) 7.12.2012–15.12.2012 г. Такое разбиение выбрано в связи с тем, что за время исследований произошли 3 сильных далеких землетрясения, 2 из которых с магнитудой более 7.0: землетрясение, происшедшее в

Канаде 28.10.2012 г. с $M = 7.7$, землетрясение в районе Мьянмы (Бирма) 11.11.2012 г. с $M = 6.8$ и землетрясение вблизи острова Хонсю (Япония) 7.12.2012 г. с $M = 7.3$. После регистрации японского землетрясения в районе проведения мониторинга низкочастотные поверхностные волны с периодом колебаний 20 с фиксировались в течение 30 мин. Такие волны распространяются на очень большие расстояния и представляют определенную угрозу зданиям и сооружениям, особенно если длительность их наблюдения достаточно велика, что обязательно надо учитывать при строительстве. Как отмечено выше, в работах [6, 7] показано, что после катастрофических событий с $M > 7.0$, сопровождаемых интенсивными поверхностными волнами, резко изменяются анизотропные свойства значительно удаленной от эпицентра сейсмоопасной среды, что в свою очередь влияет на степень ее напряженности и вызывает усиление сейсмической активизации. Поскольку работающие энергоблоки и строящийся новый энергоблок БАЭС находятся в пределах Средне-Уральской сейсмоопасной зоны, изучение влияния далеких катастрофических землетрясений на состояние среды крайне важно для обеспечения их безопасности.

На рис. 2 показано, как изменяются схемы распределения показателя γ в районе Белоярского полигона в разные интервалы времени, а в табл. 2 приведены значения показателей анизотропности γ и напряженного состояния среды S . Как видно на рис. 2, территория исследования во все интервалы наблюдения по характеру распределения показателя анизотропности делится на 3 блока: юго-западный и восточный – с повышенными значениями γ от 0.4 до 0.8, и центральный – с малыми значениями γ (0–0.2).

За два месяца наблюдений значения показателя анизотропности на всей территории исследования

Таблица 2. Геодинамические показатели среды (Белоярский сейсмологический полигон)

Год проведения исследований	Номер интервала обработки	Временные границы интервалов наблюдения	Показатель анизотропности среды $\gamma = E_R/E_V$	Интегральный показатель напряженного состояния среды S
2012	1	16.10.12–27.10.12	0.0–0.4	0.0061
	2	27.10.12–10.11.12	0.0–0.4	0.011
	3	11.11.12–26.11.12	0.0–0.2	0.00074
	4	26.11.12–6.12.12	0.0–0.6	0.08
	5	7.12.12–15.12.12	0.0–0.8	0.19

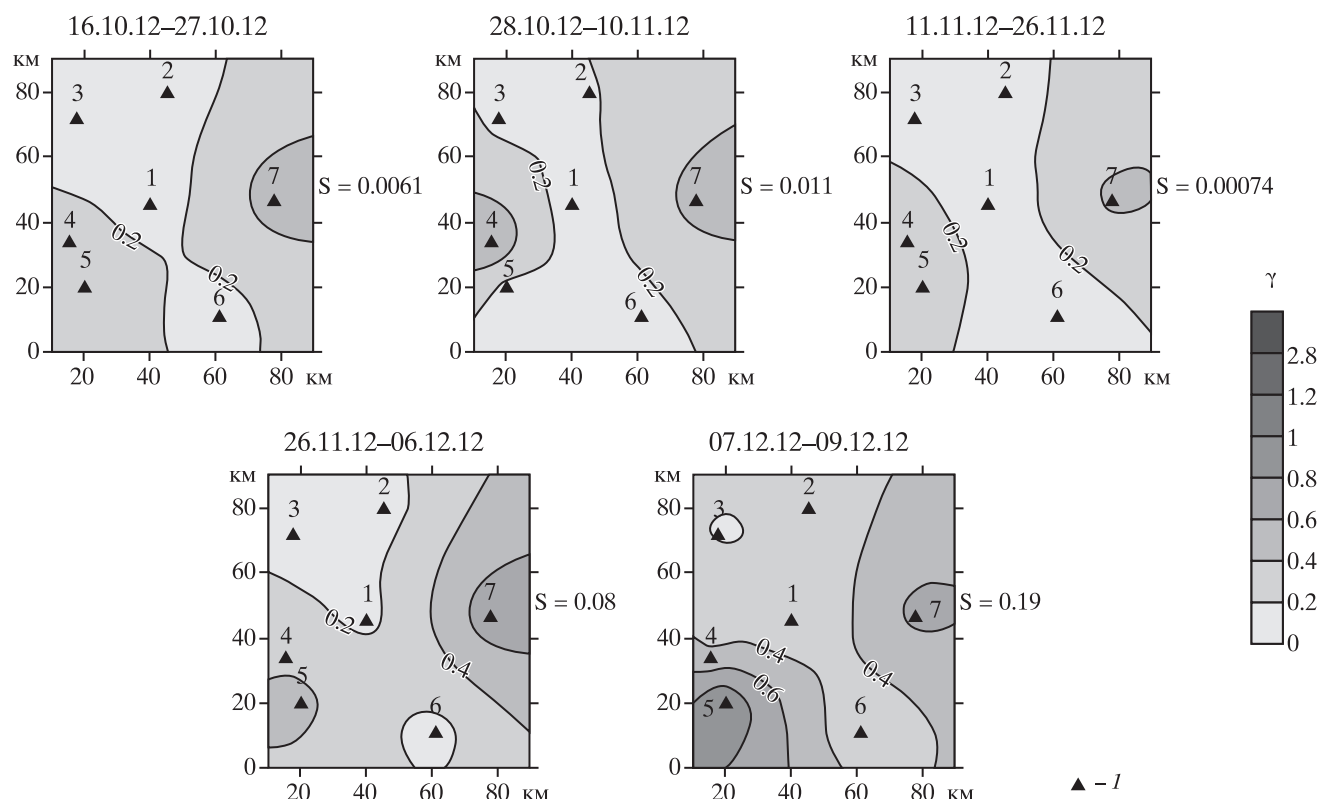


Рис. 2. Распределение показателя анизотропности $\gamma = E_f/E_v$ по территории наблюдения Белоярского полигона в разные интервалы времени: *l* – пункты наблюдения.

менялись незначительно, за исключением 5-го интервала времени после регистрации в регионе катастрофического далекого землетрясения из Японии (7.12.2012 г. с $M = 7.3$), после которого наблюдались интенсивные низкочастотные поверхностные волны в течение 30 мин. Это привело к существенному увеличению показателя напряженного состояния среды *S* для всей территории полигона в интервале наблюдения (см. табл. 2). В отличие от платформенного Нижегородского полигона, где далекие катастрофические землетрясения не оказали никакого влияния на показатели анизотропности и напряженности, в сейсмоопасном регионе БАЭС такое влияние имело место, но только после землетрясения, вслед за которым в регионе регистрировались интенсивные поверхностные волны. Канадское катастрофическое землетрясение ($M = 7.7$) и землетрясение из региона Мьянмы ($M = 6.8$) никакого влияния на степень анизотропности и напряженного состояния среды района расположения БАЭС не оказали.

Значения показателя анизотропности γ особенно возросли в юго-западном блоке и практически не изменились в центральном. За все время наименьшие изменения показателя γ наблюдения

были отмечены в центральном блоке, что позволяет предположить его большую устойчивость. Юго-западный и восточный блоки характеризуются более высокой степенью геодинимических изменений. В юго-западном блоке изменения показателя анизотропности достаточно контрастны, что может создать условия для возникновения местной сейсмичности, особенно после воздействия на регион поверхностных волн от далеких катастрофических землетрясений.

Таким образом, проанализировано изменение во времени показателей напряженного состояния среды на двух планируемых важных объектах атомной энергетики. Для региона умеренной сейсмической активности, такого как Белоярский полигон, на небольших по площади участках выявлены повышенные значения оценочных параметров γ и *S*, что может быть предвестником возникновения слабых местных землетрясений. Причем появление этих аномальных областей в основном связано с наведенными процессами от катастрофических далеких землетрясений.

В платформенном районе Нижегородской АЭС не выявлены участки с аномальными значениями оценочных параметров γ и *S*. Влияние наведен-

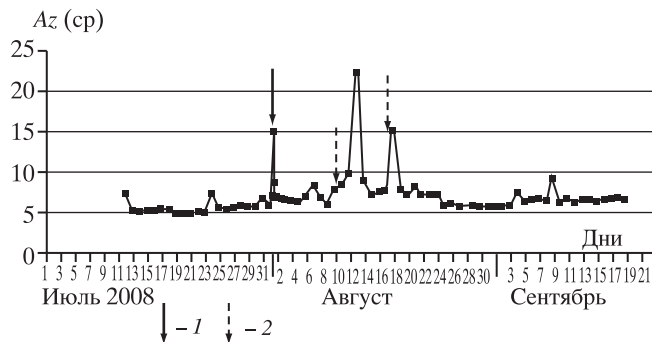


Рис. 3. Изменение средних значений амплитуд фона A_z (ср) во времени (район Северской АЭС, Томский регион): 1 – полное солнечное затмение, 2 – начало магнитных бурь с $K_i = 4$.

ных процессов отсутствует. Уровень степени анизотропности и напряженного состояния среды, по оценкам показателей, очень низкий. По-видимому, опасность карстовых провалов не отражается в изменении параметров S и γ .

Проведенные исследования свидетельствуют об отсутствии возможной серьезной опасности для строительства и последующей эксплуатации энергетических и других инженерных объектов особой важности в среднесеismicчески активном районе Белоярской АЭС и в платформенном регионе Нижегородской АЭС. Такая опасность может возникнуть, однако, в случае дополнительного влияния внешних природных или техногенных факторов, поскольку они могут стать триггером в процессе подготовки тектонических или техногенных катастроф.

К внешним природным воздействиям на геологическую среду можно отнести ежесуточные приливные воздействия Солнца и Луны, лунные и солнечные затмения, влияние Луны в различных ее фазах, солнечную активность (магнитные бури), изменение скорости вращения Земли. Наиболее сильное воздействие внешних природных факторов связано с гравитационным приливным воздействием Луны и Солнца, а также с солнечной активностью [1, 2].

Оценка влияния внешних природных факторов на амплитудно-частотные характеристики микросейсмического фона в районах разной тектонической активности по материалам долговременного мониторинга при проектировании АЭС рассмотрена в работах [8–10]. Для оценки влияния внешних факторов использовались амплитудно-частотные характеристики микросейсмического фона, которые в большой степени зависят от напряженного состояния среды [3–11].

В работах [8–10] анализировались изменение уровня амплитуд микросейсмического фона и его спектрального состава, а также изменение направление вектора смещения фона в результате воздействия внешних факторов в районах проектирования Северской и Нижегородской АЭС. Для сейсмоопасного района Томска установлено влияние солнечного затмения, которое проявляется резким увеличением (в 3–7 раз) амплитуд микросейсмического фона в течение короткого времени (время закрытия солнечного диска тенью Луны) (рис. 3) и отклонением направления вектора смещения фона на 30–40°. Выявлено также влияние магнитных бурь и лунного затмения, которое проявляется увеличением амплитуд фона и изменением направления вектора смещения микросейсмического фона. В отличие от солнечного затмения возрастание амплитуд при лунном затмении происходит не резко (в течение нескольких часов, как при солнечном затмении), а постепенно, в течение 5–6 суток.

Все отмеченные признаки влияния внешних природных факторов отмечены и для асейсмического платформенного Нижегородского региона, но в значительно более слабой степени; амплитуды фона возрастают всего лишь в 1.3 раза, отклонения направления вектора смещения фона не превышают 2–3° [10].

Аналогичные исследования влияния внешних природных факторов на микросейсмический фон

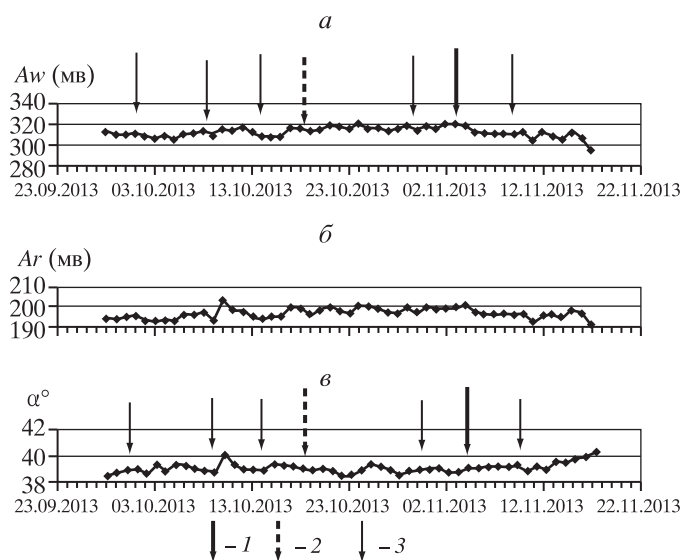


Рис. 4. Изменение во времени амплитуды вертикальной компоненты записи микросейсмического фона A_z (а), горизонтальной компоненты записи A_g (б) и угла α° (в) под влиянием внешних природных факторов (Кольский полигон): время: 1 – солнечного затмения, 2 – лунного затмения, 3 – начала магнитных бурь.

были проведены для района проектирования Белоярской АЭС и Кольской АЭС. Район Белоярской АЭС – это, как отмечено выше, Средне-Уральская сейсмоопасная зона с невысоким уровнем сейсмической активности, и влияние внешних природных факторов на микросейсмический фон территории похоже на те, что отмечались для Томского полигона (см. выше).

Следовательно, для регионов в большей или меньшей степени сейсмически активных влияние внешних природных факторов на микросейсмический фон очень ощутимо: в несколько раз увеличивается амплитудный уровень фона, заметно отклоняется вектор направления смещения фона и изменяется его спектральный состав, что проявляется, как правило, в его расширении в область высоких частот. Такие среды требуют длительно слежения за напряженным состоянием среды на этапе планирования площадки под АЭС с целью выбора наименее геодинамически активных областей под строительство, а также для учета возможного влияния внешних природных факторов.

Если в платформенном регионе Нижегородской АЭС влияние внешних природных факторов в слабой степени но сказывалось на амплитудно-частотных характеристиках микросейсмического фона [10], характеризующих среду, то для района Кольской АЭС не отмечено никакой реакции среды на внешние природные факторы. Как видно из рис. 4, уровень амплитуд микросейсмического фона и угол, характеризующий направление смещения фона, не изменяются под влиянием солнечных и лунных затмений, а также магнитных бурь. Неизменным остается и спектральный состав микросейсмического фона.

Следовательно, в платформенной асейсмичной среде и районе щита влияние далеких катастрофических землетрясений может не проявляться, поскольку, вероятно, такие среды имеют другую структуру и большую устойчивость.

Тем не менее сейсмический (геофизический) мониторинг на этапе планирования площадки под АЭС обязателен в средах любой тектонической активности, а в средах сейсмоопасных необходим и во время эксплуатации АЭС – как особо опасных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авсюк Ю.Н., Худзинский Л.Л., Суворова И.И. Связь сейсмичности Земли с приливным воздействием Луны и Солнца // Вычислит. сейсмология. 2002. Вып. 33. С. 311–336.

2. Адушкин В.В., Спивак А.А., Харламов В.А. Влияние лунно-солнечного прилива на вариации геофизических полей на границе Земная кора–атмосфера // Физика Земли. 2012. № 2. С. 14–26.
3. Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак Ф.Ф., Харламов В.А. Отклик сейсмического фона на геомагнитные вариации // Докл. РАН. 2012. Т. 444. № 3. С. 304–308.
4. Николаев А.В. Проблемы наведенной сейсмичности // Наведенная сейсмичность. М.: Наука, 1994. 222 с.
5. Попова О.Г., Серый А.В., Щеглаков В.В. Микросейсмический фон – показатель экологического состояния региона исследования // Сб. матер. VI междунар. научн. конф. “Мониторинг опасных геологических процессов и экологического состояния среды”. Киев: Киевск. нац. ун-т им. Тараса Шевченко. 2005. С. 119–121.
6. Попова О.Г., Серый А.В., Коновалов Ю.Ф., Недядько В.В. Влияние катастрофических землетрясений на напряженное состояние среды удаленных территорий // Геофизика XXI столетия: Сб. тр. восьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского, М., 2007. С. 200–204.
7. Попова О.Г., Серый А.В., Коновалов Ю.Ф. Результаты долговременного сейсмического мониторинга в сейсмоопасном районе Кавказских Минеральных Вод // Геоэкология. 2008. № 2. С. 135–140.
8. Попова О.Г., Жигалин А.Д., Коновалов Ю.Ф. Связь напряженного состояния Земной коры с солнечными затмениями и магнитными бурями // Геоэкология. 2011. № 2. С. 157–164.
9. Попова О.Г., Жигалин А.Д., Аракелян Ф.О., Недядько В.В. Геодинамический мониторинг при проектировании объектов энергетики (на примере Северской АЭС) // Геоэкология. 2013. № 4. С. 363–369.
10. Попова О.Г., Жигалин А.Д., Попов М.Г., Аракелян Ф.О., Недядько В.В. Реакция микросейсмического фона на внешние природные воздействия в районах с разной тектонической активностью // Геоэкология. 2014. № 2. С. 155–168.
11. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К. Микросейсмические наблюдения. Цикл лекций. Школа–семинар по микросейсмам // Матер. Всерос. конф. “Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов” // Архангельск: АГТУ, 2004. 64 с.
12. Crampin S. Seismic-wave propagation through a cracked solid: polarization as a possible dilatancy diagnostic // Geophys. J. R. astr. Soc. 1978. № 53. P. 426–467.
13. Crampin S. A rework of wave motion in anisotropic and cracked elastic-media // Wave motion. 1981. № 3. P. 343–391.

GEODYNAMIC MONITORING FOR PLANNING NUCLEAR POWER PLANTS

O. G. Popova*, A. D. Zhigalin*, M. G. Popov**, F. O. Arakelyan***, V. V. Nedyad'ko***,
E. V. Lavrik***

* *Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,
Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia. E-mail: oksana-p@list.ru*

***Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University,*

Leninskie gory 1, Moscow, 119991 Russia. E-mail: mgpopov@list.ru

****Atomseismoizyskaniya Ltd., ul. Skakovaya 32, kor. 2, Moscow, 125040 Russia.
E-mail: asi_47@mail.ru*

The paper deals with the results of applying the original method based on the seismic monitoring data to the study of geodynamic properties of the geophysical environment in the regions of planned construction sites for Nizhniy Novgorod and Beloyarsk nuclear power plants. Time variations in the indices of anisotropy and stress-strain state of the environment within the studied sites are defined, and the sites are distinguished, where hazardous situations may develop in the course of construction and the subsequent operation of these important engineering objects. The conclusion is made about the necessary continuous tracing the stress-strain state of the geological environment when planning the construction sites of the NPP in the tectonically active and especially seismically dangerous regions.

Keywords: *seismic monitoring, geodynamic indicators of environment properties, external natural factors, amplitude-frequency characteristics, microseismic background.*