

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 4 / 2017



УДК 55:504.75:550.348

DOI: 10.23671/VNC.2017.4.9529

ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИЙ ПЛАНИРУЕМЫХ И ДЕЙСТВУЮЩИХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РАЗНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ

© 2017 О.Г. Попова¹, к.г.-м.н., В.М. Макеев¹, д.г.-м.н., проф., М.Г. Попов², к.г.-м.н., Ф.О. Аракелян³, к.ф.-м.н., В.В. Недядько³

¹ФГБУН Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Россия, 101000, г. Москва, Уланский пер. 13, стр. 2, e-mail: oksana-p@list.ru;

²ФГБОУВО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: mgpopov@list.ru;

³ООО «Атомсейсмоизыскания», Россия, 125040, Москва, ул. Скаковая 32, корп. 2, e-mail: asi_47@mail.ru

Исследована геодинамика геологических сред территорий Кольской, Нижегородской и Северной (Томской) АЭС, расположенных в областях с различной тектонической активностью, с целью определения их безопасности с помощью сейсмо-экологического мониторинга от естественных источников. На примере исследований наведенных процессов от далеких катастрофических землетрясений на геологическую среду и инженерные объекты в ряде районов Балтийского щита и Западно-Сибирской плиты показано, что зоны аномально повышенных геодинамических показателей могут обнаруживаться в районах слабой сейсмической активности, являющихся периферийной областью сейсмически активного орогена. Необходимо учесть этих воздействий на геологическую среду существующих, строящихся и проектируемых особо опасных объектов (ООО). Методика, разработанная для оценки геодинамического состояния земной коры по материалам сейсмо-экологического мониторинга, может быть использована в самых различных районах земного шара и для любых объектов высокой экологической опасности разрушения. Определены дальнейшие направления исследований на основе комплексирования геофизических наблюдений и углубленной интерпретации геологических данных.

Ключевые слова: геодинамика, геологическая среда, АЭС, особо опасные объекты.

Введение

Важной задачей проектирования и эксплуатации особо опасных объектов (ООО): АЭС, ГЭС, химических предприятий и др. является обеспечение безопасного недропользования, оценка геодинамического состояния геологической среды, прогнозирование степени опасности и риска землетрясений, особенно в связи с одновременным развитием различных природных и техногенных опасных процессов

Мониторинг изменения геодинамического состояния среды во времени позволяет выявить аномальные зоны повышенных напряжений, оценить во времени их изменение, миграцию по латерали и вертикали [Попова и др., 2016].

Важным аспектом является дифференцирование разноглубинных структурных планов на основе оценки геофизических (сейсмических) параметров, что позволяет определить степень геодинамической активности среды. Ключевым моментом следует считать раскрытие механизма взаимодействия разных геофизических полей и проявление их суммарного воздействия на состояние геологической среды (синергетика процесса).

В густонаселенных урбанизированных районах также актуален вопрос применения сейсмо-экологического мониторинга на основе регистрации упругих волн естественных источников. Методика оценки напряженного состояния и изучения геодинамики среды на основе результатов полевых наблюдений за упругими волнами естественных источников разработана в Институте геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН [Попова и др., 2008, 2016]. В основу методики положен анализ записей объемных волн от далеких землетрясений типа PS (падающая продольная волна P , обменная поперечная волна S). Использование обменных волн PS было предложено для исследований глубинного строения земной коры С.С. Андреевым еще в 1952 году и широко применялось в СССР в 1960–1980-х гг. в методе МОВЗ (метод обменных волн землетрясений), разработанном Померанцевой И.В., Мозженко А.Н., Щербаковой Б.Е. и др. [Померанцева, Мозженко, 1997; Щербакова и др., 1977]. Преимущество метода МОВЗ состоит в том, что не требуется разрушающих затратных мероприятий и механизмов для возбуждения упругих волн, поскольку обменные волны PS от разных границ в земной коре четко регистрируются в самом начале записи горизонтальных компонент с запаздыванием по отношению к продольной волне P , а другие типы волн вступают позже и менее информативны.

Методика оценки напряженного состояния геологической среды

Энергия обменных поперечных волн PS существенно зависит от степени трещиноватости, пористости, флюидизации и анизотропных свойств среды, которые в большой степени определяются ее напряженным состоянием [Гик, 1997; Crampin, 1981]. Величина энергии, пропорциональная квадрату амплитуд, оценивается в условных единицах. Согласно разработанной методике, напряженное состояние среды в некоторой точке пространства оценивается следующими безразмерными показателями [Попова и др., 2008]:

а) показателем анизотропности среды g под каждой точкой наблюдения: $g = E_R / E_V$. E_V и E_R – энергия радиальной и тангенциальной компонент волн PS , рассчитывается по сейсмическим записям длительностью до 4-х сек, что позволяет анализировать обменные волны до глубины порядка 25–30 км;

б) интегральным показателем напряженного состояния среды St . Показатель определяется расчетным путем на основе изучения распределения параметра g по площади наблюдательной сети мониторинга.

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

где x, y – координаты района проведения мониторинга; d – пороговый уровень, превышение которого ($g > \delta$) указывает на возрастание анизотропных свойств среды и, соответственно, напряженного состояния в районе исследования.

Записи обменных волн PS от далеких землетрясений обрабатываются с целью определения временных рядов: $E_V(t)$, $E_R(t)$, $g(t)$ для каждого пункта наблюдения, оценки St для всей площади сети сеймостанций и создания набора схем распределения параметра g для разных интервалов времени и разных диапазонов глубин.

При проведении сейсмо-экологического мониторинга применяется площадная расстановка пунктов наблюдения (локальная сеть), состоящая из трехкомпонентных цифровых сейсмических станций типа РСС «Дельта-Геон». Частотный диа-

пазон станций 0,1–32 Гц, динамический диапазон не менее 100 Дб. Используются трехкомпонентные низкочастотные сейсмоприемники СК-1П с собственной частотой 1 Гц. Это позволяет регистрировать далекие землетрясения с частотой в диапазоне 0,8–1,3 Гц.

Площадь полигона обычно составляет 60х60 км². Оптимальное количество станций – 10–15, но не менее 5. Расстояние между станциями – 12–20 км, оптимально 16 км. Длительность наблюдения может колебаться от 2-3 месяцев до нескольких лет в зависимости от задач мониторинга [Попова и др., 2008]. Обменные волны *PS* выделяются по методике, разработанной в Центре Геон Егоркиным А.В. [Егоркин и др., 1979]. Далее проводится обработка по методике оценки напряженного состояния, описанной выше.

Результаты эксперимента

В данной работе проведено сопоставление и анализ результатов сейсмо-экологического мониторинга территорий площадок АЭС, расположенных в трех регионах с разным геологическим строением и геодинамическими условиями: Томском (Северская АЭС), Нижегородском (Нижегородская АЭС) и Кольском (Кольская АЭС). Целью наблюдений было показать изменение геодинамических показателей напряженного состояния среды *g* и *St* во времени для каждого исследуемого региона, оценить диапазон изменения этих показателей, выявить области их аномальных значений и природу этих аномалий. Кроме того, необходимо было установить влияние внешних природных факторов, например, таких как катастрофические далекие землетрясения, на показатели напряженного состояния среды *g* и *St* в районах с разной геодинамической активностью и выявить признаки усиления сейсмической опасности.

В предыдущих работах [Попова и др., 2007, 2008] было показано, что в районах с высокой сейсмической опасностью в результате регистрации далекого катастрофического землетрясения с магнитудой $M \geq 6,8$, после которого регистрируются интенсивные низкочастотные (период 15-20 сек.) поверхностные волны происходит перестройка распределения анизотропных свойств среды, степень напряженного состояния резко возрастает (значительное возрастание показателя *St*), и отмечается активизация местной сейсмичности [Попова и др., 2007, 2008]. Природа таких местных землетрясений может считаться наведенной, вызванной природными и техногенными воздействиями – триггерами [Николаев, 1994]. Таким триггер-воздействием могут быть далекие катастрофические землетрясения, влияющие на геодинамическое состояние земной коры.

Томский регион расположен в пределах Западно-Сибирской плиты. В его пределах в течение двух лет проводился сейсмоэкологический мониторинг на площадке проектируемой Северской АЭС. Площадка относится к удаленной периферии Алтае-Саянской сейсмоопасной зоны, которая (периферия) характеризуется низкой неотектонической дифференциацией и слабой сейсмичностью. В результате мониторинга установлено, что показатель анизотропности *g* для диапазона глубин 0–25 км колебался в пределах от 0,1 до 0,8 (табл. 1). Однако показатель анизотропности только дважды за период наблюдений существенно увеличивался до 1,4 и 2,8, что привело к увеличению значений интегрального показателя *St* до 0,18 и 0,542 и появлению контрастной аномалии (зоны) повышенных напряжений [Попова и др., 2013]. 5 февраля 2010 г. в районе Томского полигона Северской АЭС произо-

шло слабое местное тектоническое землетрясение с магнитудой 1,4, приуроченное к краевой части выделенной аномалии, которое увязывается с увеличением интегрального показателя St . Следует заметить, что за время проведения мониторинга в этом регионе далекие катастрофические землетрясения не регистрировались, следовательно, увеличение показателя St связано не с наведенными процессами, а с местными тектоническими процессами в среде.

Таблица 1.

**Геодинамические характеристики среды района Северской АЭС
(Томский сейсмологический полигон) для диапазона глубин (0–25 км)**

Год проведения исследований	Границы интервалов	Показатель анизотропности среды $\gamma = E_R/E_V$	Интегральный показатель напряженного состояния среды St
2008	11.07.08–31.07.08	000-0,8	0,149
	27.08.08–10.09.08	0,0-0,4	0,001
	11.09.08–10.10.08	0,0-0,8	0,04
	11.10.08–10.11.08	0,0-0,6	0,017
2009	03.01.09–25.01.09	0,0-0,6	0,001
	20.01.09–10.02.09	0,0-0,8	0,074
	04.04.09–17.04.09	0,0-1,0	0,126
	18.04.09–12.05.09	0,0-1,0	0,16
	14.05.09–20.06.09	0,0-0,6	0,017
	05.09.09–29.09.09	0,0-0,4	0,003
2010	12.12.09–10.01.10	0,0-1,4	0,18
	06.02.10–25.02.10	0,0-0,6	0
	26.02.10–04.03.10	0,0-2,8	0,542
	05.03.10–14.03.10	0,0-0,8	0,003

Следовательно, площадка Северской АЭС, расположенная в пределах молодой плиты, подвержена динамическому воздействию со стороны удаленного на более чем 350–400 км Алтае-Саянского орогена, и на ее территории возможно появление аномальных зон повышенных напряжений, не связанных с влиянием катастрофических далеких сейсмических событий [Николаев, 1994; Попова и др., 2007, 2008], но опасных для возникновения местных (удаленность менее 100км) тектонических землетрясений, хотя опасными также являются сильные удаленные землетрясения близко расположенного активного орогена.

Максимальные значения показателя напряженного состояния St , характерные для Томского региона со слабой сейсмичностью, на порядок ниже значений St в регионах с высокой сейсмичностью (например, в районе Кавказских Минеральных Вод) [Попова и др., 2016]. Последний также расположен в пределах молодой пли-

ты, но максимально приближен к тектонически активной области – к новейшему поднятию Кавказского орогена, что оказалось определяющим для увеличения значений геодинамических показателей.

Нижегородский асейсмичный регион, в пределах которого расположена площадка Нижегородской АЭС, приурочен к широкой зоне сопряжения Токмовского свода и Московской синеклизы древней Восточно-Европейской докембрийской платформы (ВЕП). Осадочный чехол и поверхность кристаллического фундамента очень полого без резких градиентов по Нижегородскому склону погружается с ЮВ в СЗ направлении. Рассматриваемый регион максимально удален от тектонически активных горно-складчатых областей и всецело принадлежит удаленной периферии автономной Циркум-Каспийской геодинамической системы [Макарова и др., 2017].

Сейсмо-экологический мониторинг, длившийся в течение года в пределах Нижегородского полигона, показал очень низкие значения геодинамических показателей g и St . И это несмотря на случившееся во время мониторинга в начале второго интервала наблюдений далекое Фукусимское катастрофическое землетрясение (11.03.2011, магнитуда $M=9,0$), которое было зарегистрировано на Нижегородском полигоне, и которое сопровождалось в течение часа интенсивными низкочастотными поверхностными волнами (см. табл. 2, интервал наблюдений 11.03.11–5.04.11 г.). Показатель анизотропности γ варьировал за все время наблюдений в пределах от 0 до 0,6, а показатель напряженного состояния St – от 0 до 0,061 (см. табл. 2) [Попова и др., 2016].

При этом значения геодинамического показателя St оказались почти в 10 раз меньше для этих же значений для Томского полигона, характеризуемого слабой сейсмичностью, и, соответственно, в 100 раз меньше, чем значения геодинамических показателей для регионов высокой сейсмической активности (например, Кавказских Минеральных Вод). Здесь фактор удаленности Нижегородского полигона от активной области оказался определяющим для значений геодинамических показателей. Следовательно, современные геодинамические условия полигона являются типично платформенными, неактивными (пассивными) и изотропными.

Таблица 2.

**Геодинамические показатели среды района Нижегородской АЭС
(Нижегородский полигон) для диапазона глубин (0–25 км)**

Год проведения исследований	Временные границы интервалов наблюдения	Показатель анизотропности среды $\gamma = E_R/E_V$	Интегральный показатель напряженного состояния среды St
2011	17.01.11–10.03.11	0-0,4	0,012
	11.03.11–5.04.11	0-0,2	0
	16.06.11–31.07.11	0-0,2	0,001
	1.09.11–21.10.11	0-0,6	0,061
	21.10.11–7.11.11	0-0,4	0,0015

Кольский регион расположен в пределах Балтийского докембрийского щита древней Восточно-Европейской платформы. В новейшей структуре щит выражен обширным сводовым поднятием с повышенной сейсмичностью, который рассматривается как активная тектоническая область Циркум-Балтийской геодинамической системы [Макарова и др., 2017]. Мониторинг площадки Кольской АЭС, локализованной в этом регионе, проводился в два этапа: 1) 2013-2014 гг. и 2) 2015-2016 гг. Геодинамические значения показателей St и γ были получены для двух глубинных интервалов: 0–10 км и 10–25 км. Для пяти временных интервалов наблюдения были построены трехмерные модели (рис. 1).

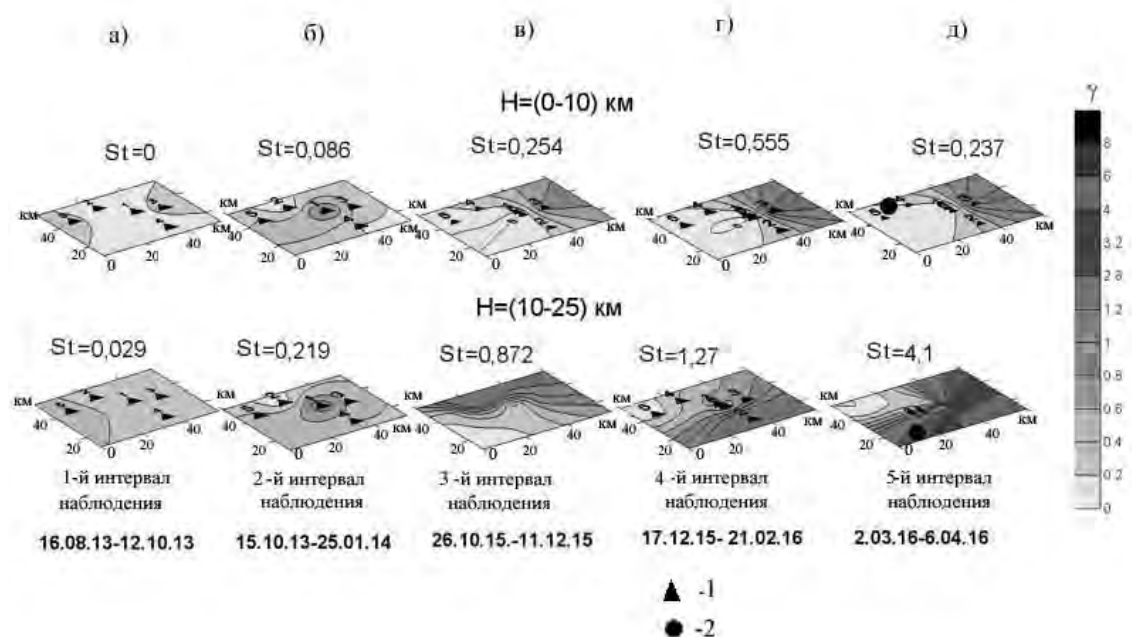


Рис. 1. Трехмерные модели распределения геодинамических показателей γ и St в разные интервалы наблюдений 2013–2016 гг. на Кольском полигоне.

1 – станции наблюдения сети сейсмоэкологического мониторинга
2 – землетрясения, произошедшие в пределах полигона

В первых двух временных интервалах наблюдения 2013-2014 гг. значения показателя анизотропности γ изменяются в небольших пределах 0–0,6 (см. рис. 1а, б), а максимальные значения показателя St не превышают 0,22 (см. табл. 3). Существенно повышенные значения геодинамических показателей γ и St отмечаются в остальных трех интервалах наблюдений 2015-2016 гг., вероятно, в связи с произошедшим Индонезийским сильнейшим землетрясением 13.02.2016 г. с магнитудой 7,8 (см. рис. 1в, г, д) (см. табл. 3).

В процессе регистрации этого катастрофического землетрясения наблюдались интенсивные низкочастотные поверхностные волны, которые привели к мгновенной перестройке характера распределения значений показателя γ [Попова и др., 2007, 2008], и соответственно к изменению значений показателя St . В интервале глубин 0–10 км значения показателя напряженного состояния St колеблются в диапазоне 0,237-0,555, а в интервале глубин 10–25 км они существенно выше и возрастают в пятом временном интервале до значения $St = 4,1$ (см. табл. 3). Такие высокие значения показателя St не характерны для платформенных регионов [Попова и др., 2016]. Кроме того, отмечается полная несогласованность «структурных планов»

распределения показателя γ верхней части (0–10 км) и средней части земной коры (10–25 км) относительно друг друга (рис. 1в, г, д). Увеличение значений показателей γ и St , установленное в 4-м и 5-м интервалах наблюдения, выразилось появлением аномального участка повышенных напряжений в юго-восточной части полигона. С ним связываются два местных землетрясения, произошедших 28.02.2016 г. ($M = 2,1$, глубина 25 км) и 03.04.2016 г. ($M = 1,2$, глубина 8 км) (рис. 1д). Природа землетрясений определяется как наведенная [Николаев, 1994] в результате воздействия на геологическую среду интенсивных низкочастотных поверхностных волн от катастрофического Индонезийского землетрясения (13.02.2016 г.).

Таблица 3.

**Геодинамические характеристики среды Кольской АЭС
(Кольский полигон)**

Год проведения мониторинга	Номер интервала наблюдений	Временные границы интервалов наблюдения	Глубина слоев в км	Показатель степени анизотропии среды $\gamma = E_R/E_V$	Интегральный показатель напряженно-го состояния среды St
2013-2014	1	16.08.13– 12.10.13	0–10 10–25	0-0,2 0-0,4	0,0 0,029
	2	15.10.13– 25.01.14	0–10 10–25	0-0,6 0-0,6	0,086 0,219
2015-2016	3	26.10.15– 11.12.15	0–10 10–25	0-0,8 0-1,2	0,254 0,872
	4	17.12.15– 21.02.16	0–10 10–25	0-1,2 0-1,2	0,555 1,27
	5	28.02.16– 6.04.16	0-10 10–25	0-1,2 0-4,0	0,237 4,1

Следовательно, несмотря на то, что Кольский полигон расположен в пределах устойчиво развивающегося сводового поднятия платформенного типа, он принадлежит к геодинамически и тектонически активной области. Рост поднятия связывается с послеледниковой разгрузкой и воздействием деформационных волн, наводимых со стороны удаленной Северо-Атлантической зоны спрединга. Внешний природный фактор – далекое катастрофическое землетрясение – влияет на среду района Кольской АЭС, которая по своим свойствам сильно отличается от пассивной платформенной среды, для которой характерно отсутствие влияния катастрофических землетрясений [Попова и др., 2016] на геодинамические показатели среды.

Заключение

Таким образом, сейсмоэкологический локальный мониторинг, основанный на определении энергетических характеристик волн PS от далеких землетрясений, позволяет определить пространственно-временную изменчивость геодинамических показателей напряженного состояния среды (g и St), которая может быть приурочена к разным интервалам времени наблюдений и к разным глубинным уровням земной коры. Сейсмо-экологический мониторинг позволяет выявить аномальные (контрастные) зоны повышенных напряжений, которые могут вызывать неожидан-

ное проявление слабых местных землетрясений. Этим самым они увеличивают сейсмический риск территорий проектирования ООО. Для его снижения крайне важно оценить степень деформационного воздействия на них со стороны тектонически активных областей. Оценка этого фактора необходима для обеспечения безопасности территорий проектирования, строительства и безопасной эксплуатации атомных станций и других особо важных объектов.

Результаты получены по изменению поляризационных характеристик обменных волн *PS* от далеких землетрясений, вызванных изменениями напряженного состояния земной коры. Это проявление ее высокой тензочувствительности и упругой нелинейности, которые наблюдаются в разных геофизических полях [Николаев, 2003]. Таким образом, перспективу развития изучения геодинамического состояния литосферы мы видим в необходимости проведения комплексного геофизического мониторинга, использующего разные геофизические поля, в расширении экспериментальной базы геофизических исследований. Геофизические исследования дают нам возможность увидеть и оценить тонкую пространственно-временную структуру геологического процесса, геологической эволюции. Представленные результаты подготовили следующий шаг исследований состояния литосферы, новое понимание строения Земли и процессов ее современной геологической эволюции.

Литература

1. Гик Л.Д. Физическое моделирование распространения сейсмических волн в пористых и трещиноватых средах // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. №4. – С. 804–815.
2. Егоркин А.В., Данилова Т.И., Рыбалов М.Б. Методика выделения обменных волн // Геология и геофизика. – 1979. – №10. – С. 107–119.
3. Макарова Н.В., Макеев В.М., Дорожко А.Л., Т.В. Суханова, Коробова И.В. Геодинамические системы и геодинамически активные зоны Восточно-Европейской платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 2007. – Т. 91. Вып. 4-5. – С. 13–27.
4. Николаев А.В. Проблемы наведенной сейсмичности. Наведенная сейсмичность. – М.: Наука, 1994. – 222 с.
5. Николаев А.В. Черты геофизики XXI века // Сборник «Проблемы геофизики XXI века». – М.: Наука, 2003. – С. 7–16.
6. Померанцева И.В., Мозженко А.Н. Сейсмические исследования с аппаратурой Земля. – М.: Недра, 1997. – 256 с.
7. Попова О.Г., Серый А.В., Коновалов Ю.Ф., Неядько В.В. Влияние катастрофических землетрясений на напряженное состояние среды удаленных территорий // Геофизика XXI столетия: 2006 г. Сборник трудов восьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского. – М. – 2007. – С. 200–204.
8. 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.
9. Попова О.Г. Жигалин А.Д., Аракелян Ф.О., Неядько В.В. Геодинамический мониторинг при проектировании объектов энергетики (на примере Северной АЭС) // Геоэкология. – 2013. – №4. – С. 363–369.
10. Попова О.Г., Попов М.Г., Аракелян Ф.О., Неядько В.В., Васютинская С.Д. Основные результаты по локальному сейсмоэкологическому мониторингу в разных регионах Российской Федерации // Геоэкология. – 2016. – №6. – С. 483–496.

11. Щербакова Б.Е., Бовенко В.Г., Эрнандес Г. Использование метода обменных волн от землетрясений для изучения глубинного строения о. Куба // Прикладная геофизика. – М.: Недра, 1977. – С. 60–71.

12. Crampin S. A Review of wave motion in anisotropic and cracked elastic-media // Wave motion. – 1981. – №3. – Pp. 343–391.

DOI: 10.23671/VNC.2017.4.9529

GEODYNAMIC STATE OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE TERRITORIES PLANNED AND EXISTING NUCLEAR POWER PLANTS LOCATED IN DIFFERENT TECTONICALLY ACTIVE AREAS

© 2017 O.G. Popova¹, V.M. Makeev¹, M.G. Popov², F.O. Arakelyan³, V.V. Nedyadko³

¹Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Russia, 101000, Moscow, Ulansky pereulok 13, building 2, e-mail: oksana-p@list.ru;

²Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, e-mail: mgpopov@list.ru;

³LLC Atomseismoizyskaniya, Russia, 125040, Moscow, Skakovaya Str. 32, building 2, e-mail: asi_47@mail.ru

We investigated the geological environment geodynamics of Kola, Nizhniy Novgorod territories and Seversk (Tomsk) NPS, located in tectonically active different areas to determine their security through seismo-ecological monitoring from natural sources. It is shown that zones of abnormally elevated geodynamic indicators may occur in areas of weak seismic activity that are peripheral area of seismically active orogen, as well as in the Baltic shield from exposure induced processes from a distant earthquake disaster, as well as in industrial impact simultaneously on geological environment and on the particularly dangerous objects (PDO). It is necessary to consider these impacts on the geological environment existing, under construction and planned (PDO). The procedure, developed for evaluating the geodynamic state of the earth's crust based on materials of seismo-ecological monitoring, can be used in the most varied regions of the terrestrial globe and for any objects of the high ecological danger of the destruction. Identify further research areas on the basis of integration of geophysical observations and in-depth interpretation of geological data.

Keywords: geodynamics, geological environment, NPS, particularly dangerous objects.

References

1. Gik L.D. Fizicheskoe modelirovanie rasprostraneniya seismicheskikh voln v poristyyh i treshhinovatykh sredah [Physical simulation of the seismic waves propagation in porous and fractured media]. *Geologiya i geofizika*, 1997, Vol. 38, No. 4, pp. 804–815. (in Russian)

2. Egorkin A.V., Danilova T.I., Rybalov M.B. Metodika vydeleniya obmennyyh voln [The technique for PS waves identification]. *Geologiya i geofizika*, 1979, No. 10, pp. 107–119. (in Russian)

3. Makarova N.V., Makeev V.M., Dorozhko A.L., T.V. Suhanova, Korobova I.V. Geodinamicheskie sistemy i geodinamicheski aktivnye zony Vostochno-Evropejskoj platform [Geodynamic systems and geodynamically active zones of the East European platform]. *Bjull. MOIP. Otd. geol.*, 2007, Vol. 91, Issue 4-5, pp. 13–27. (in Russian)

4. Nikolaev A.V. Problemy navedennoj sejsmichnosti. Navedennaja sejsmichnost' [Problems of induced seismicity. Induced seismicity]. M.: Nauka, 1994, 222 p. (in Russian)
5. Nikolaev A.V. Cherty geofiziki XXI veka [Features of geophysics of the XXI century]. Sbornik «Problemy geofiziki XXI veka», M.: Nauka, 2003, pp. 7–16. (in Russian)
6. Pomeranceva I.V., Mozzhenko A.N. Sejsmicheskie issledovanija s apparaturoj Zemlja [Seismic research with equipment «Zemlja»]. M.: Nedra, 1997, 256 p. (in Russian)
7. Popova O.G., Seryj A.V., Konovalov Ju.F., Nedjad'ko V.V. Vlijanie katastroficheskikh zemletrjasenij na naprjazhennoe sostojanie sredy udalennyh territorij [The impact of catastrophic earthquakes on the stress state of the remote territories environment]. Geofizika XXI stoletija: 2006, Sbornik trudov vos'myh geofizicheskikh chtenij im. V.V. Fedynskogo, M. 2007, pp. 200–204. (in Russian)
8. Popova O.G., Seryj A.V., Konovalov Ju.F. Rezul'taty dolgovremennogo sejsmicheskogo monitoringa v sejsmoопасnom rajone Kavkazskih Mineral'nyh Vod [Results of long-term seismic monitoring in the seismic region of the Caucasian Mineral Waters]. Geojekologija, 2008, No. 2, pp. 135–140. (in Russian)
9. Popova O.G. Zhigalin A.D., Arakeljan F.O., Nedjad'ko V.V. Geodinamicheskij monitoring pri proektirovanii ob'ektov jenergetiki (na primere Severskoj AJeS) [Geodynamic monitoring in the design of energy facilities (in the example of Seversk NPP)]. Geojekologija. 2013, No. 4. pp. 363–369. (in Russian)
10. Popova O.G., Popov M.G., Arakeljan F.O., Nedjad'ko V.V., Vasjutinskaja S.D. Osnovnye rezul'taty po lokal'nomu sejsmojekologicheskomu monitoringu v raznyh regionah Rossijskoj Federacii [The main results on local seismic and environmental monitoring in different regions of the Russian Federation]. Geojekologija, 2016, No. 6, pp. 483–496. (in Russian)
11. Shherbakova B.E., Bovenko V.G., Jernandes G. Ispol'zovanie metoda obmennyh voln ot zemletrjasenij dlja izuchenija glubinnogo stroenija o. Kuba [The use of the method of exchange waves from earthquakes to study the deep structure of Cuba isle]. Prikladnaja geofizika, M.: Nedra, 1977, pp. 60–71. (in Russian)
12. Crampin S. A Review of wave motion in anisotropic and cracked elastic-media // Wave motion. – 1981. – №3. – Pp. 343–391.