

О МОНИТОРИНГЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В ПОДПОЧВЕННОМ ВОЗДУХЕ НА ТЕКТОНИЧЕСКОМ РАЗЛОМЕ ТЕРРИТОРИИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К АЭС

Г.К. Игнатенко, П.И. Гремченко, Ю.М. Глушков

Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ

249040, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок, 1



Рассмотрены особенности процесса дегазации по тектоническим разломам, выхода водорода и его контроля как одного из показателей геодинамики, дополняющих информационную базу по контролю суффозионно-карстовых процессов и сейсмологического мониторинга особо ответственных объектов в платформенных районах. Указаны некоторые преимущества мониторинга концентрации водорода для оценки сейсмических и геодинамических условий района размещения и площадки АЭС. Представлены результаты полевых измерений концентрации подпочвенного водорода по маршруту, перпендикулярному линии тектонического разлома. Показано, что концентрация подпочвенного водорода в зоне тектонического разлома принимает экстремальные значения. Данные о концентрации водорода, полученные в ходе мониторинга, могут дополнять информацию о геофизической обстановке (динамике суффозионно-карстовых процессов и сейсмической напряженности) в районе расположения АЭС и других промышленных и гражданских объектов с целью обеспечения безопасности их эксплуатации.

Ключевые слова: дегазация, суффозионно-карстовый процесс, сейсмологический мониторинг, флюиды, концентрация водорода, атомная электростанция, слабая сейсмичность.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение современных геодинамических процессов, вызывающих катастрофические последствия, является одним из приоритетных направлений в науках о Земле и важной научно-технической проблемой промышленного и гражданского значения. Интенсивное природное и техногенное воздействие на геологическую среду приводит к ускоренной деградации и нарушению равновесия в установившихся комплексах горных пород. Это определяет актуальность исследований зон геоэкологического риска, прогнозирования природных катастроф и разработки мер по уменьшению наносимого ими ущерба.

Объекты экологического риска (АЭС, промышленные, гражданские здания, сооружения и агропромышленные комплексы), находясь в геологической среде, могут подвергаться воздействию активизированных локальных геодинамических явлений (сейсмические процессы, оползни, карстообразование, флюидообменные процессы, суффозия и т.д.) как на стадии строительства, так и на стадии эксплуатации, вызывая технологические, экологические катастрофы и отчуждения значительных территорий в аграрнопро-

© Г.К. Игнатенко, П.И. Гремченко, Ю.М. Глушков, 2016

мышленном комплексе. Прогрессирование этих явлений делает актуальными работы, связанные с изучением геодинамических процессов (изменение сейсмической напряженности и суффозионно-карстовых образований) по флюидным проявлениям в литосфере.

Флюидные системы, находясь в непрерывном движении, участвуют в перераспределении напряженно-деформированного состояния земной коры. Они определяют современную активность разломов, расположенных в сейсмоактивных и платформенных областях [1, 2]. Среди современных методов исследования флюидо-динамических процессов земной коры наиболее эффективными являются гелиевый и радоновый эманационный мониторинги. В последнее время начинает внедряться в практику натуральных измерений состояния флюидных систем водородный метод [3, 4].

В составе глубинных флюидов наряду с ювенильной водой, водородом, метаном и другими углеводородами присутствуют кислые газы H_2S , HCl , HF [6]. Поскольку температурный градиент в земной коре составляет около $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{км}$, то из глубин к поверхности поступает теплая ювенильная вода, подкисленная сильными кислотами.

Практически вся Русская равнина, на которой сосредоточены объекты ядерной энергетики, покрыта осадочными карбонатно-терригенными отложениями, поэтому такая вода способствует ускорению суффозионно-карстовых процессов. Известно, что в результате карстовых процессов подстилающие почву горные породы теряют прочность. Это приводит к проседанию грунта, что делает данные участки территории отчужденными.

Диффузия газов – глубинных флюидов, в том числе и водорода – сквозь минералы, составляющие земную кору, практически ничтожна. Поэтому глубинные флюиды выходят на поверхность через многочисленные геодинамические нарушения в зонах разломов континентальных плит.

Очень важным информационным фактором процесса дегазации является ее динамика, связанная с сейсмической обстановкой района. Во многих случаях землетрясения тектонического происхождения сопровождаются увеличением содержания водорода в воздухе на территории эпицентра и прилегающих площадях [5, 6]. Согласно ОСП-97 (сейсмическое районирование территории Российской Федерации) [7, 8], сейсмическая опасность значительных территорий существенно повысилась, в том числе и для платформы, ранее считавшейся пассивной и безопасной. Это определяет актуальность ужесточения требований к обеспечению сейсмостойкости и геозекологической безопасности АЭС и других промышленных и гражданских объектов, наблюдениям за сейсмическим режимом и состоянием геодинамических зон при инженерных изысканиях для выбора площадки и разработки проекта, а также к сейсмологическому и геозекологическому мониторингу для контроля стабильности параметров проектной основы при сооружении, эксплуатации и выводе АЭС из эксплуатации.

Как отмечается в работе [13], настоящий инструментальный сейсмологический мониторинг направлен на регистрацию возмущений различных полей, и не фиксирует геофизические особенности фонового процесса, который занимает преимущественное время в сейсмическом цикле. Между возмущением какого-либо параметра и сейсмическим актом проходят многие месяцы или годы фонового процесса, а положение эпицентра (гипоцентра) и области возмущений не совпадают в пространстве. Что прогнозировать?

Сейсмологический мониторинг ведется в поверхностном слое земной коры. Он практически не нагружен и расслоен, и на него действуют фоновые поля. В этом же слое происходит разгрузка природных газов из более глубоких горизонтов. Поверхностный слой не связан прямо с зоной, где начинают формироваться условия для проявления сейсмических событий. Влияние поверхностного слоя исчезает глубже 5–6 км.

Такой подход прогноза предвестников землетрясений заведомо является проигрышным.

В сейсмическом процессе не рассматривалась планетарная водородная дегазация Земли, хотя восходящие планетарные потоки легких газов весьма велики. Водородная

дегазация оказывает существенное влияние на формирование мегаструктур и процессы, протекающие в среде. Это ранее не учитывалось. Например, водород вызывает аморфизацию и текстурирование граничных структур, которые могут обеспечивать сверхконтрастное движение литосферных блоков относительно друг друга и движение океанической коры в мантию. Именно это и наблюдается. Фиксируется колебательный режим изменения параметров среды как следствие водородной дегазации.

Необходимо иметь в виду, что проявление масштабности процессов дегазации и их геологические следствия невозможно моделировать в лабораторном эксперименте.

ВОДОРОД КАК ТРАССЕР ДЕГАЗАЦИИ

Благодаря разработанным в последнее время портативным водородным газоанализаторам [9] стало возможным использовать водород в качестве трассера, определять места эксгаляции глубинных флюидов на местности, тем самым контролировать динамику геодинамических процессов как суффозионно-карстовых и сейсмическую активность, дополняя информационность сейсмологического мониторинга.



Рис. 1. Водородный газоанализатор ВГ-2А. Разработка НИЯУ МИФИ



Рис. 2. Пример суффозионно-карстового проседания поверхности почвы на территории центральной части Русской равнины, Тверская обл.

Отработка методики измерения концентрации водорода в подпочвенном воздухе производилась с помощью разработанного прибора ВГ-2А (рис. 1) и пробоотборника [9 – 11]. В местах измерения, где был выход глубинных флюидов, концентрация водо-

рода в пробах с увеличением глубины отбора росла, достигая на глубинах до одного метра 100 и более пропромилле.

Карстовые процессы в подстилающих карбонатных отложениях проявляются на поверхности вначале так называемыми кольцевыми структурными проседаниями – блюдцеобразными углублениями, глубина и диаметр которых со временем увеличиваются. Проявление карстовых процессов на поверхности обусловлено суффозией – разрушением пород вследствие их выщелачивания и выноса подземными водами мельчайших нерастворимых минеральных частиц, в результате чего объем породы уменьшается. Суффозия сопровождается оседанием вышележащей толщи с образованием на поверхности западин, суффозионных воронок и «блюдца». Эти образования имеют размеры от единиц до сотен метров в плане, глубина доходит до нескольких метров (рис. 2).

В настоящее время безопасность АЭС по геодинамике суффозионно-карстовых процессов и сейсмической стойкости обеспечивается обоснованием отсутствия на площадке активных разломов, учетом при обеспечении сейсмостойкости ПЗ и МРЗ и контролем стабильности параметров, принятых в проектной основе, при сооружении, эксплуатации и выводе АЭС из эксплуатации. Важная роль в обеспечении сейсмической безопасности АЭС отводится режимным инструментальным сейсмологическим наблюдениям, выполняемым в составе инженерных изысканий для обоснования выбора площадки, определения параметров ПЗ и МРЗ, а также сейсмологическому мониторингу с целью контроля стабильности параметров проектной основы на всех этапах жизненного цикла объектов [5 – 7]; суффозионно-карстовые и другие геодинамические процессы при этом не контролируются [12].

МОНИТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В ПОДПОЧВЕННОМ ВОЗДУХЕ

Участок для проверки и отработки методики полевых измерений концентрации подпочвенного водорода в районе зоны наблюдения Калининской АЭС был предложен сотрудниками предприятия ООО НПО «Гидротехпроект». Располагается он у озера Удомля на геологическом разломе. Схема участка представлена на рис. 3

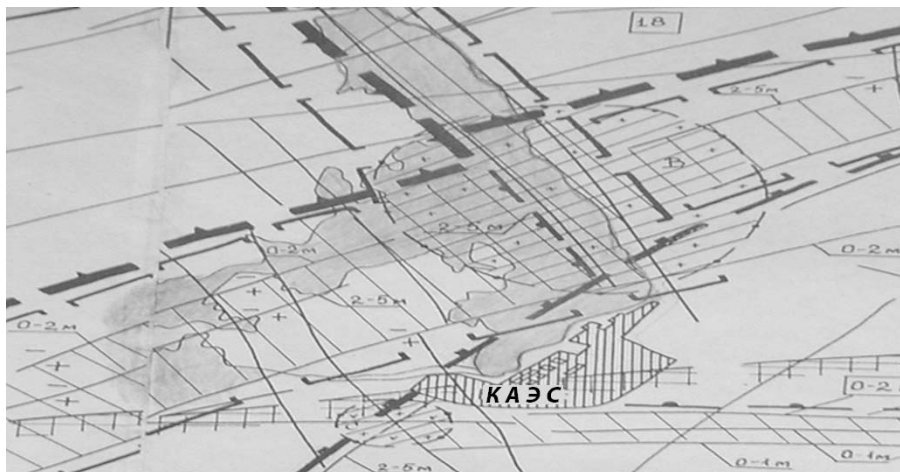


Рис. 3. Карта ОСР-97 геологических разломов на территории, прилегающей к КАЭС

Тверская область, где находится Калининская АЭС, расположена в центральной части Русской равнины. В геолого-структурном отношении она расположена на западном крыле Московской синеклизы.

По результатам геолого-геофизической изученности установлено, что на территории области, как и на всей Восточно-Европейской платформе, дочетвертичные отложения представлены тремя структурными мегакомплексами. Первый из них

слагает кристаллический фундамент, а два других – осадочный чехол платформы. Кристаллический фундамент на территории области имеет блоковое строение, обусловленное серией крупных разломов главенствующего восток-северо-восточного направления.

Целевым назначением работ по ведению мониторинга геологической среды является пополнение информации, характеризующей динамику экзогенных геологических процессов в естественных и нарушенных техногенным воздействием условиях в районах геологических разломов.

На территории Тверской области по степени ее пораженности, активности проявления развиты следующие основные генетические типы природных экзогенных геологических процессов: заболачивание, эрозия, оползни, карст.

Подземный карст имеет широкое развитие, однако степень пораженности территории процессами подземного карстообразования по площади недостаточно изучена.

Подземные карстопроявления в виде подземных полостей, закарстованных трещин, разрушенных до щебня и муки пород отмечены практически повсеместно, где вскрывались и изучались карбонатные породы на глубину. В целом же закарстованность карбонатных пород в пределах области составляет от долей процентов до 20 – 30 %.

Несмотря на незначительную степень активности процессов карстообразований области, при строительстве объектов необходимо учитывать даже отдельные проявления карста не только с точки зрения непосредственной угрозы с его стороны при строительстве, но и в плане техногенного влияния на карстово-суффозионные процессы. Хозяйственная деятельность может изменить сложившееся равновесие геологических условий в сторону, благоприятную для развития карста.

Маршрут полевых измерений был выбран в перпендикулярном направлении к линии разлома с интервалом между скважинами около 100 метров с целью определения максимального значения концентрации водорода и соответствия координаты этой скважины координате линии геологического разлома (рис. 4).

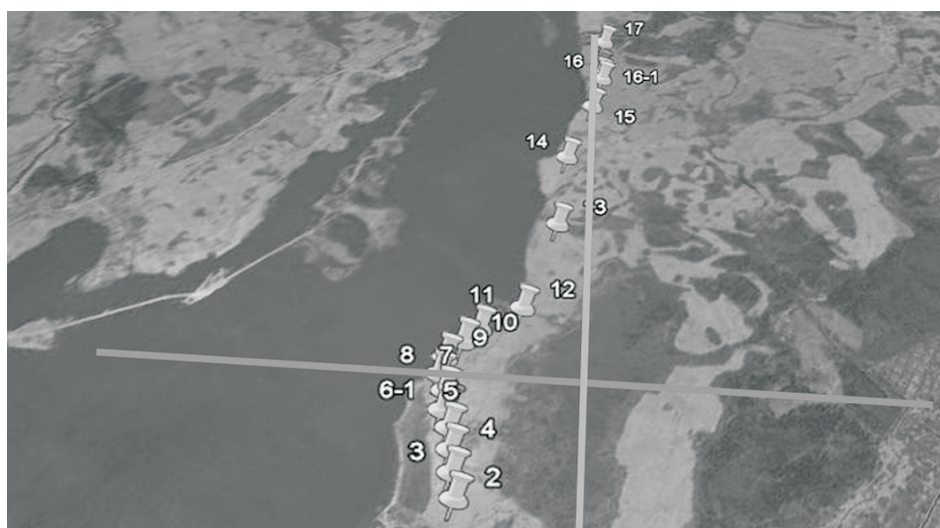


Рис. 4. Озеро Удомля. Расположение скважин относительно геологических разломов

Результаты полевых измерений представлены в табл. 1 и на рис. 5.

Проведенные полевые измерения концентрации водорода в маршрутных скважинах показали максимальные значения в скважинах №6 и 16, расположенных на

линии геологического разлома.

Таблица 1

Номер скважины	Глубина скважины, м	Концентрация водорода в скважине, ррп	Координата скважины		Дата замера
			широта	долгота	
2	0,7	48	57° 56'31.68"	35° 03'46.82"	08.07.2015
3	0,75	175	57° 56'34.36"	35° 03'41.54"	08.07.2015
4	0,75	30	57° 56'56.73"	35° 03'36.95"	08.07.2015
5	0,75	76	57° 56'39.07"	35° 03'32.02"	08.07.2015
6	0,75	>500	57° 56'41.33"	35° 03'27.57"	08.07.2015
6-1	0,75	>500	57° 56'40.52"	35° 03'27.30"	09.07.2015
7	0,75	39	57° 56'43.09"	35° 03'23.82"	09.07.2015
8	0,75	20	57° 56'44.48"	35° 03'19.34"	09.07.2015
9	0,7	70	57° 56'47.34"	35° 03'16.23"	22.07.2015
10	0,75	170	57° 56'50.86"	35° 03'16.28"	22.07.2015
11	0,75	22	57° 56'54.24"	35° 03'16.54"	22.07.2015
12	0,7	72	57° 57'01.13"	35° 03'20.15"	22.07.2015
13	0,65	71	57° 57'18.17"	35° 03'06.27"	23.07.2015
14	0,7	256	57° 57'32.16"	35° 02'48.86"	23.07.2015
15	0,75	249	57° 57'46.46"	35° 02'38.22"	23.07.2015
16	0,7	300	57° 57'55.09"	35° 02'29.28"	24.07.2015
16-1	0,7	300	57° 57'54.42"	35° 02'30.90"	24.07.2015
16-2	0,7	300	57° 57'56.13"	35° 02'27.84"	24.07.2015
17	0,7	180	57° 58'04.42"	35° 02'17.58"	24.07.2015

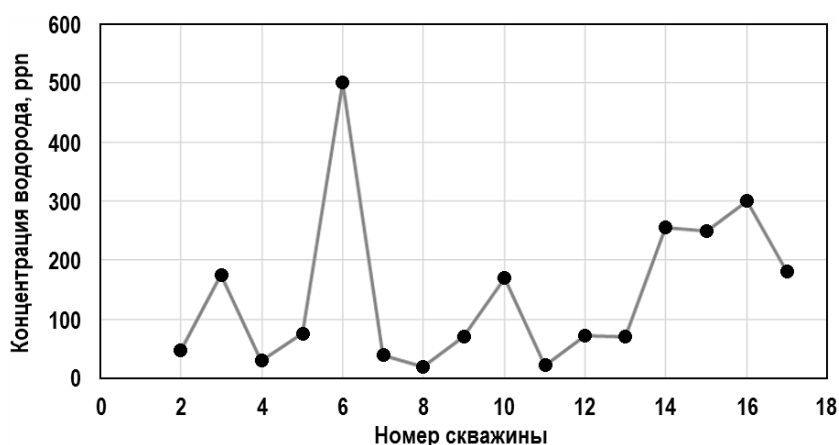


Рис. 5. Концентрация водорода в скважинах на территории геологических разломов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов позволяет констатировать, что прибор и методика измерения концентрации водорода в подпочвенном воздухе достаточно чувствительны, и могут быть рекомендованы для контроля процессов дегазации, государственного мониторинга геологической среды, дополнять информацию о геофизической обстанов-

ке (динамике суффозионно-карстовых процессов и сейсмической напряженности) в районе расположения АЭС и других промышленных и гражданских объектов с целью обеспечения безопасности их эксплуатации.

Литература

1. *Осика Д.Г.* Флюидный режим тектонически-активных областей. – М.: Наука, 1981. – 204 с.
2. *Сывороткин В.Л.* Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: 000 «Геоинформцентр», 2002. – 205 с.
3. *Литовченко А.В., Игнатенко Г.К., Литвинов А.В., Глушков Ю.М.* Некоторые экологические процессы в местах выхода глубинного водорода. / Материалы международной научной конференции «Глобальные экологические процессы». – М.: 2-4 октября 2012 г. – С. 300-302.
4. *Ларин В.Н., Ларин Н.В., Литовченко А.В., Игнатенко Г.К.* Безопасность АЭС в условиях интенсификации глубинной дегазации Земли. / Доклад на научной сессии МИФИ, февраль 2012 г.
5. *Обжиров А.И., Пуцин И.К., Коровицкая Е.В.* Распределение водорода и углеводородных газов в островодужной системе Тонга // Тихоокеанская геология. – 2012 г. – Т.31. – № 4. – С. 87-92.
6. *Навроцкий О.К., Тимофеев Г.И., Титаренко И.А., Писаренко Ю.А., Диброва А.И., Глухова Е.В.* Газовые поля в зоне сочленения сложнопостроенных крупных геоструктурных блоков юго-восточной части Русской платформы (по региональному профилю Уварово-Свободный, Саратовская область) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2012. – Т. 12. – № 2. – С. 77-84.
7. *Бугаев Е.Г., Кишкина С.Б., Санина И.А.* Особенности сейсмологического мониторинга районов размещения объектов атомной энергетики на восточно-европейской платформе. // Ядерная и радиационная безопасность. – 2012. – №3. – С. – 65.
8. РБ-019-01. Руководство по безопасности. «Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов на основании геодинамических данных». Постановление Госатомнадзора РФ от 29.12.2001 г. №10. Портал нормативных документов: <http://www.opengost.ru/>
9. *Литовченко А.В., Игнатенко Г.К., Ларин Н.В., Глушков Ю.М., Литвинов А.В.* Патент на полезную модель № 131487. МПК G01N. Бур для отбора проб подпочвенного воздуха / Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ); опубл. 20.08.2013. Бюл. № 22.
10. *Литовченко А.В., Игнатенко Г.К., Ларин Н.В., Глушков Ю.М., Литвинов А.В.* Патент на полезную модель №132557. МПК G01N. Устройство для отбора проб подпочвенного воздуха / Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ); опубл. 03.10.2013. Бюл. № 22.
11. *Литовченко А.В., Игнатенко Г.К., Ларин Н.В., Литвинов А.В., Николаев И.Н.* Патент на изобретение №2502977. Способ определения интенсивности выделения газов легче воздуха с поверхности пористых объектов и устройство для его осуществления. 27.12.2013.
12. *Худяков Г.И.* Геоэкологические проблемы Балаковской АЭС. // Поволжский экологический журнал. – 2003. – №3. – С. 285-296.
13. *Гуфельд И.Л., Матвеева М.И., Новоселов О.Н.* Почему мы не можем осуществить прогноз сильных коровых землетрясений. // Geodynamics & Tectonophysics. – 2011. – Vol. 2. – № 4. – PP. 378–415. – DOI: 10.5800/GT 2011 2 4 0051.

Поступила в редакцию 19.02.2016 г.

Авторы

Игнатенко Георгий Константинович, доцент, канд. техн. наук

E-mail: igkobninsk@mail.ru

Гремченко Петр Иванович, старший преподаватель

E-mail: ecology@iate.obninsk.ru

Глушков Юрий Михайлович, доцент, канд. хим. наук

E-mail: ecology@iate.obninsk.ru

HYDROGEN CONCENTRATION MONITORING IN SUBSOIL AIR ON TECTONIC FAULTS ON THE TERRITORY ADJACENT TO NPP

Ignatenko G.K., Gremchenko P.I., Glushkov Yu.M.

Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, National Research Nuclear University «MEPhI». 1 Studgorodok, Obninsk, Kaluga reg., 249040 Russia

ABSTRACT

Presented degassing process by tectonic fractures, the yield of hydrogen and its management as one of the indicators of geodynamics, more information base for monitoring of geodynamic and karst-suffosion processes and seismic monitoring of critical facilities, industrial and civil values in the platform areas.

Thanks to recently developed a portable hydrogen gas analyzers has become possible to use hydrogen as a tracer to determine the place of deep exhalation of fluids on the ground, thereby to control the dynamics of geodynamic processes like suffosion - karst and seismic activity, complementing the seismological monitoring of information.

Some of the benefits of monitoring the hydrogen concentration to assess the seismic and geodynamic conditions of the area of placement and operation of nuclear power sites.

As the object of field research area of Kalinin NPP was used, where according to the geological work identified tectonic fault.

Intended purpose of works on monitoring of the geological environment is the addition of information that characterizes the dynamics of exogenous geological processes in natural and anthropogenic influence of disturbed conditions in the areas of geological faults.

In the area of geodynamic active zone associated with a deep fault in the accommodation area of Kalinin Nuclear Power Plant marked the activity of karst and suffosion processes lineament zones of increased fracturing of rocks, form a ring structure subsidence, changes in the landscape structure dynamics.

The results of field measurements of subsurface hydrogen concentration along the route perpendicular to the tectonic fault lines.

It is shown that the concentration of hydrogen in the subsurface zone of tectonic fault takes extreme values, indicating that the activation of the geodynamic setting.

Key words: degassing, suffosion-karst processes, seismological monitoring, fluids, hydrogen concentration, nuclear power, weak seismicity.

REFERENCES

1. Osika D.G. Fluid regime of tectonically active regions. Moscow. Nauka Publ., 1981. 204 p. (in Russian).
2. Syvorotkin V.L. Deep degassing of the Earth and global catastrophes. Moscow. Geoinformcentr Publ., 2002. 205 p. (in Russian).
3. Litovchenko A.V., Ignatenko G.K., Litvinov A.V., Glushkov Yu.M. Some environmental processes in places where the depth of hydrogen. Proceedings of the International scientific conference «Global environmental processes». Moscow. Oct. 2-4, 2012, pp. 300-302 (in Russian).
4. Larin V.N., Larin N.V., Litovchenko A.V., Ignatenko G.K. Safety of nuclear power plants in terms of intensification of deep degassing of the Earth. Report at the Scientific Session of Moscow Engineering Physics Institute, February, 2012 (in Russian).
5. Obzhairov A.I., Leo I.K., Korovitsky E.V. Distribution of hydrogen and hydrocarbon gases in Tonga island arc system. Pacific Geology. 2012, v.31, no. 4, pp. 87-92 (in Russian).
6. Nawrocki O.K., Timofeev G.I., Titarenko I.A., Pisarenko Yu.M., Dibrova A.I., Glukhov E.V. Gas

fields at the junction of complex large geostructural blocks southeast part of the Russian Platform (Regional profile Uvarovo-Free, Saratov region). Proceedings of the Saratov University. New episode. Series: Earth sciences. 2012. v. 12, no. 2, pp. 77-84 (in Russian).

7. Bugaev E.G., Kishkin S.B., Sanin I.A. Features seismological monitoring of areas where nuclear power facilities on the East European platform. *Yadernaya i radiacionnaya bezopasnost'*. 2012, no. 3, p. 65 (in Russian).

8. RB-019-01. Safety Guide. Evaluation of seismic hazard areas placement of nuclear and radiation hazardous objects on the basis of geodynamic data. Resolution GAN RF from 29.12.2001 no. 10. Portal normativnyh dokumentov. Available at <http://www.opengost.ru/> (in Russian).

9. Litovchenko A.V., Ignatenko G.K., Larin N.V., Glushkov Yu.M. The patent for utility model no. 131487. IPC G01N. Bur for sampling subsoil air; applicant and patented Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «National Research Nuclear University» Moscow Engineering Physics Institute (MEPhI); publ. 08.20.13. Bul. no. 22 (in Russian).

10. Litovchenko A.V., Ignatenko G.K., Larin N.V., Glushkov Yu.M., Litvinov A.V. A utility model patent no.132557. IPC G01N. A device for sampling subsoil / air; applicant and patentee Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «National Research Nuclear University» Moscow Engineering Physics Institute (MEPhI); publ. 03.10.13. Bul. no. 22 (in Russian).

11. Litovchenko A.V., Ignatenko G.K., Larin N.V., Litvinov A.V., Nikolaev I.N. The patent for the invention no.2502977. The method for determining the intensity of emission of gas is lighter than air from the surface of porous objects and device for its implementation. 12.27.2013 (in Russian).

12. Hudyakov G.I. Geoenvironmental problems of Balakovo NPP. *Povolzhskij ekologicheskij zhurnal*. 2003, no. 3, pp. 285-296 (in Russian).

13. Gufeld I.L., Matveeva M.I., Novoselov O.N. Why we cannot predict strong earthquakes in the Earth's crust. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2011, v. 2, no. 4, pp. 378-415. DOI: 10.5800/GT 2011 2 4 0051 (in Russian).

Authors

Ignatenko Georgij Konstantinovich, Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: igkobninsk@mail.ru

Gremchenko Pyotr Ivanovich, Senior Lecturer

E-mail: ecology@iate.obninsk.ru

Glushkov Yuriy Mihajlovich, Associate Professor, Cand. Sci. (Chemistry)

E-mail: ecology@iate.obninsk.ru