

УДК 004.3:551.508.25

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
СЕЙСМИЧЕСКОЙ РАДОНОВОЙ СТАНЦИИ**¹Долгий К.А., ^{1,2}Белашев Б.З.¹*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, e-mail: dolkons@gmail.com;*²*Институт геологии КНЦ РАН, Петрозаводск, e-mail: belashev@krc.karelia.ru*

Разработанный на базе сейсмической радоновой станции СРС-05 аппаратно-программный комплекс выполняет функции получения, формирования данных измерений объемной активности радона, их архивирования и отправки пользователям. Помимо этого, реализована возможность дистанционного управления станцией. Дополнительные устройства не влияют на процесс измерения станции, а лишь обеспечивают выход в сеть Интернет, а также передачу данных на заданный ftp-сервер непосредственно по сети или с помощью мобильной связи в местах отсутствия кабельной инфраструктуры. Новые функциональные свойства повышают адаптационные возможности комплекса, обеспечивают его автономную работу и способствуют его превращению в интеллектуальный сенсорный модуль для мониторинга окружающей среды. Малые габариты и низкое энергопотребление его компонентов обеспечивают большую мобильность комплекса и увеличивают время его автономной работы.

Ключевые слова: радиоактивность, радон, программно-аппаратный комплекс, мониторинг**HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX OF SEISMIC RADON STATION**¹Dolgiy K.A., ^{1,2}Belashev B.Z.¹*Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: dolkons@gmail.com;*²*Institute of Geology of Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, e-mail: belashev@krc.karelia.ru*

Designed on the base of seismic radon station SRS-05 hardware and software complex receives and forms the data of the measurements from station, perform the archiving of the data and sends it to the end users. Besides, the complex realises remote control by station. Additional devices of this complex do not influence the process of measuring of the station and just provide access to the Internet and data transfer to specified ftp-server directly via the network or the mobile in places with lack of cable infrastructures. New functional properties increase the adaptive capabilities of the complex, provide its autonomous work and contribute to its transformation into a smart sensor module for monitoring of an environment. Small dimensions and low power consumption of its components provide greater mobility of the complex and increase the time of its autonomous operation.

Keywords: radioactive, radon, hardware-software complex, monitoring

Один из видов естественной радиоактивности представлен растворимым в воде тяжелым инертным газом радоном, не имеющим цвета и запаха [1]. Возникающие в радиоактивных превращениях урана и радия, его изотопы Rn²¹⁹-актинон, Rn²²⁰-торон, Rn²²²-радон дают цепочки новых распадов с образованием радиоактивных дочерних продуктов. Источниками радона считают, содержащие уран массивы горных пород и тектонические зоны. Радоновую съемку применяют при поисках урановых руд, месторождений нефти, газа, выявлении зон дробления горных пород и разрывной тектоники. Содержание радона в воздухе, воде связывают с геодинамическими процессами. Радон считают индикатором напряженного состояния горных пород, предвестником землетрясений, горных ударов, оползней. Некоторые строительные материалы выделяют радон.

На земную поверхность, в атмосферу и гидросферу радон поступает вместе с другими эндогенными газами по сланцеватости

и трещинам горных пород [2]. В атмосфере этот газ вызывает гидратацию молекул водяного пара на ионах, рост температуры воздуха, его адиабатическое расширение, подъем, формирование характерных облачных структур и струйных течений, изменение проводимости приземного слоя, рост атмосферного электрического поля и другие феномены [3].

Основой биологического действия радона и его продуктов является способность ионизировать, возбуждать молекулы, активизировать мутации и образовывать опухоли. Структурные аномалии растений связывают с влиянием радона [4]. При облучении им в клетках биологического индикатора радона транденсканции растет число микроядрышек [5].

Воздействием радона на людей занимается геоэкология – наука, изучающая опасные факторы территорий и жилищ. Согласно ее данным на радон и его дочерние продукты приходится около 75% годовой индивидуальной эффективной дозы радиа-

ции, получаемой населением. Из-за высокой плотности, почти в 9 раз больше плотности воздуха, радон скапливается в подвалах, горных выработках, пещерах, туннелях, ямах. Вместе с тем он подвижен, растворим в воде, газах, органических растворителях, грунтовыми и поверхностными водами, атмосферными потоками переносится на расстояния до нескольких километров. Попадая в организм человека с продуктами питания, водой, воздухом, радионуклиды становятся источником внутреннего облучения, провоцируют онкологические заболевания. Опасность облучения населения от радона по данным ООН составляет 43% [6]. Высокие концентрации радона характерны для территорий США, Ирландии, Чехии, скандинавских стран, Австрии, Германии, России, Ирана. В Бразилии, Индии, Канаде, России имеются участки с «ураганными» содержаниями радона. Объемная активность радона в подпочвенном воздухе некоторых нефтяных месторождений Нижнего Поволжья достигает 10^6 Бк/м³. Столь высокие объемные активности радона объясняют его выносом с больших глубин скоростными газовыми струями.

компьютер. Небольшие размеры, вес, надежность, простота эксплуатации способствуют использованию станции в труднодоступных местах.

Недостатком сейсмической радоновой станции «СРС-05» является невозможность дистанционной передачи данных и удаленного управления. Попытка преодолеть его, имитируя при передаче данных в компьютер нажатие клавиш программного интерфейса станции (рис. 1, б) [11], оказалась связана с использованием дисплея компьютера, что привело к увеличению габаритов, веса аппаратуры, ускорило разряд аккумуляторной батареи.

Статья посвящена разработанному на базе «СРС-05» программно-аппаратному комплексу, выполняющему указанные функции без использования дисплея компьютера благодаря стыковке станции с мини-компьютером и устройствами выхода в сеть Internet.

Не влияя на процесс измерения, комплекс может оперативно обрабатывать и пересылать данные, получать внешние команды, проводить диагностику, менять режимы работы станции.

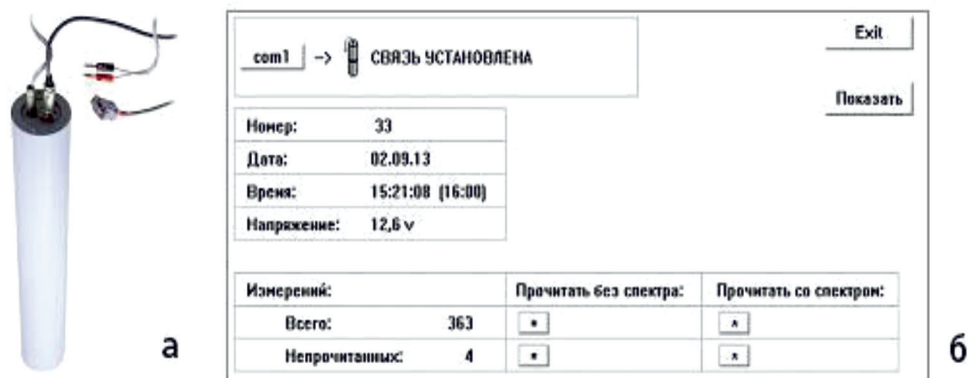


Рис. 1. Сейсмическая радоновая станция СРС-05(а), окно интерфейса считывания данных (б)

Риски, связанные с радоном, делают актуальным его мониторинг.

Для мониторинга содержания радона и торона в помещениях и подпочвенном воздухе НПО «НГМ Защита» разработала сейсмическую радоновую станцию «СРС-05» (рис. 1, а) [7]. От отечественных детекторов-индикаторов радона «Сирад М106 N» [8], радиометров РГА-500, РГГ-02Т [9] «СРС-05» отличается классом точности, широкими функциональными возможностями, от зарубежных аналогов [10] – низкой стоимостью. Станция хранит данные измерений во внутренней памяти и по запросу передает их на подключаемый к ней

Структура и функционирование комплекса. Структура комплекса приведена на рис. 2, а. Как измерительный модуль станция «СРС-05» через заданные промежутки времени измеряет объемную активность радона, торона, давление, температуру, влажность воздуха, напряжение на аккумуляторной батарее и сохраняет эти данные в памяти.

Управляет комплексом подключенный к станции мини-компьютер. Основную часть времени компьютер неактивен. Через равные промежутки времени компьютер устанавливает соединение со станцией и посылает запрос на передачу данных в ин-

тервалах между измерениями. Если запрос поступает в момент измерения, компьютер переходит в режим ожидания и повторяет обращение к станции через заданный промежуток времени. По измерениям, собранным за сутки, программа компьютера формирует файл, архивирует его, отправляет на ftp-сервер коллективного доступа или отдельным пользователям.

Способ подключения компьютера к сети Интернет зависит от мест размещения станции, проводится с использованием кабельной системы, беспроводной сети Wi-Fi, либо по сетям стандарта GSM через модемы мобильной связи. Из-за отсутствия кабельной инфраструктуры последняя возможность чаще реализуется вне населенных пунктов.

Конструктивные и программные особенности реализации комплекса. Радонная станция «СРС-05» представляет собой переносимый малогабаритный прибор, работающий под собственным управлением, имеющий внутреннюю память и разъемы для подключения компьютера и питания. Цикл работы станции состоит из разделенных во времени режимов измерения и ожидания. Измерение содержания радона и торона включает прокачку воздуха через камеру, электростатическое осаждение дочерних продуктов радона и торона Po^{218} и Po^{216} на полупроводниковый детектор, подсчет числа, сопровождающих распад альфа-частиц, определение их энергий. В режиме ожидания производят считывание данных, выбирают режимы работы станции, устанавливают параметры. Станцию питают от аккумуляторной батареи. Рабочий диапазон напряжений батареи – 10,6–12,6 В. Благодаря низкому потреблению: ток в режиме измерения составляет 500 мА, в режиме ожидания – 100 мА без подзарядки аккумуля-

лятора – станция может проработать около двух недель. Ее рекомендуют использовать при относительной влажности не более 80% и температуре не ниже + 6 °С.

Для управления комплексом был выбран мини-компьютер «Raspberry Pi» Model B+ компании Raspberry Pi Foundation (рис. 2, б). Данный компьютер зарекомендовал себя как современное, гибкое, надежное средство автоматизации процессов. Компьютер имеет 4 разъема USB 2.0, Ethernet разъем, 512Мб ОЗУ, 40 GPIO выводов, использует напряжение номиналом 5В от USB-порта или аккумуляторной батареи через делитель напряжения. Максимально допустимый ток потребления компьютера – 2.5А. К станции компьютер подключается посредством USB-RS232 преобразователя ВМ 8050 (рис. 2, в). Крепление на корпусе станции компьютера, сравнимого по размеру с банковской картой, практически не меняет габариты и вес станции.

Программное обеспечение ориентировано на обычные формы взаимодействия компьютера и станции: получение данных без спектра, получение данных со спектром, установка параметров [12]. Программа чтения данных повторяет процедуру интерфейса «СРС-05» без использования виртуальных кнопок, формирует суточный файл данных и в заданное время отправляет его на ftp-сервер. Программа получения данных со спектром дополнительно считывает энергии зарегистрированных α -частиц и строит их спектр, необходимый при выявлении нарушений в работе станции. В режиме удаленного управления, получив задание по сети Интернет, компьютер направляет станции команду на установку значений параметров и подтверждает их значения после установки.

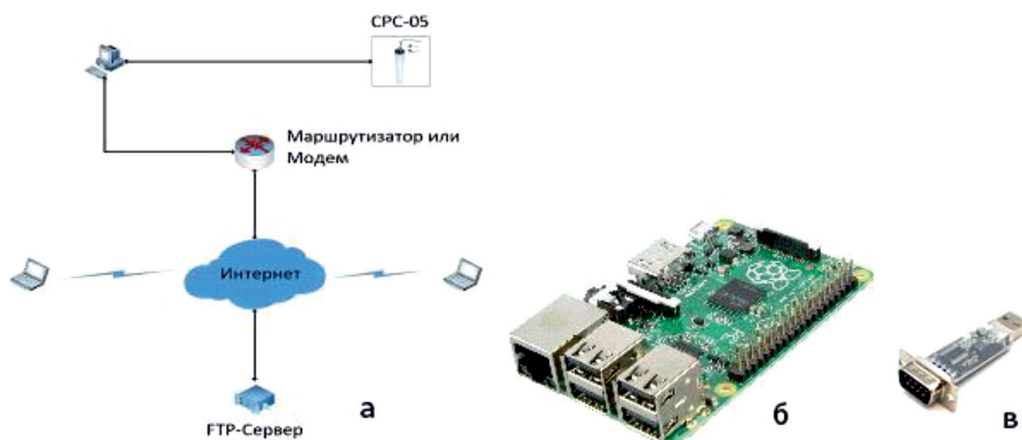


Рис. 2. Структурная схема комплекса (а), плата мини-компьютера «Raspberry Pi» Model B+ (б), переходник USB-RS232 для подключения станции к компьютеру (в)

Мини-компьютер работает под управлением операционной системы Linux. Его программные модули написаны на языке «Python» версии 2.7. Связь между станцией и мини-компьютером ведется через интерфейс RS-232 по схеме «запрос – ответ». Периодически опрашивая стан-

цию, мини-компьютер посылает специальный байт. Получив его, станция, если она не находится в режиме измерения, сообщает о готовности к сеансу связи. Формы запроса компьютера на передачу данных и ответа станции представлены в виде

```
<com_grv><длина команды><код команды><параметр 1>...<параметр n>
<com_anz><длина ответа><код команды><параметр 1>...<параметр n>
```

Здесь «<com_grv>» и «<com_anz>» байты – признаки начала команд запроса компьютера и ответа станции, «длина команды» и «длина ответа» означают число байт команды, начиная с кода команды. Последним параметром является контрольная сумма, рассчитываемая при формировании и отправке управляющих команд. Передача данных измерений идет с подтверждением приема каждого блока. В режиме получения данных без спектра длина блока данных составляет 32 байта, в режиме получения данных со спектром – 256 байт. Данные записываются в файл расширением *.csv с указанием даты получения. По окончании передачи станция выдает байт окончания передачи, а компьютер прекращает сеанс связи.

В режиме управления компьютер посылает станции команду длиной от 1 до n байт, где n означает порядковый номер передаваемого параметра. В соответствии с полученной командой станция меняет внутренние параметры, формирует ответ, отправляя байт приема команды или байт неудачи.

Запуск программы связи со станцией, архивацию данных, передачу их на ftp-сервер выполняют скрипты на языке «bash» командной оболочки Linux. Для установки времени и частоты сеансов связи со станцией используется стандартная утилита «crontab» динамического планировщика задач «cron», встроенного в систему Linux миникомпьютера Raspberry Pi.

Связь мини-компьютера и ftp-сервера организована по сети Интернет с использованием мобильной связи. При приеме слабых сигналов помогают миниатюрные модемы с встроенной антенной в форм-факторе USB-модема или GSM-терминал промышленного исполнения Siemens TC65 с внешней антенной. Когда из-за плохого качества связи соединение с сервером установить не удастся, компьютер передает данные в следующем цикле связи.

Передача данных на сервер малыми порциями раз в сутки минимизирует требования к мобильной связи, позволяет использовать сети третьего (3G) и второго (GSM/GPRS/EDGE) поколений. Разделенное хра-

нение данных в станции, компьютере, на сервере обеспечивает резервирование и сохранность данных. Журналы соединений в мини компьютере, на сервере облегчают диагностику неисправностей комплекса.

Испытание комплекса. Комплекс тестировали в натуральных экспериментах 2016 г. в подвальных помещениях домов в городах Петрозаводске, Питкяранте, деревнях Шелтозеро и Царевичи. Данные измерений от станции СРС-05 раз в сутки поступали на сервер Института геологии Карельского научного центра РАН в г. Петрозаводске.

На рис. 3, а приведен регистрируемые в течение недели данные измерений объемной активности радона в подвальном помещении дома в д. Царевичи и их спектр (б), полученный методом максимума энтропии Бурга с окном 40 [13]. О сложности динамики эксхалляции радона свидетельствует серия спектральных пиков с периодами 42.7, 19.7, 12.8, 9.5, 6.9, 5.7, 4.8, 4.3, 3.6, 3.3, 2.9, 2.7, 2.6, 2.4, 2.3, 2.2 часа. Наиболее интенсивный пик соответствует 4 часам 48 минутам.

Природа цикличности объемной активности радона неясна. Она может быть связана как с локальным геодинимическим режимом (деревня расположена на узком перешейке, разделяющем два озера) так и с действием таких факторов, как вариации атмосферного давления, температуры, неравномерности вращения Земли, действием лунно-солнечных приливов [14].

Пример указывает на недостаточность локальных измерений объемной активности радона. Для установления природы цикличности необходимо выделение ее локальных и глобальных компонент путем сравнения результатов синхронных измерений, выполненных однотипными приборами, разнесенными на значительные расстояния.

Комплексы, подобные описанному, быстро получают, обрабатывают данные о радиоактивности и состоянии окружающей среды, являются гибкими, перенастраиваемыми. Поскольку объемная активность радона – предиктор землетрясений, их использование в сенсорных сетях способно повысить оперативность выработки и принятия решений.

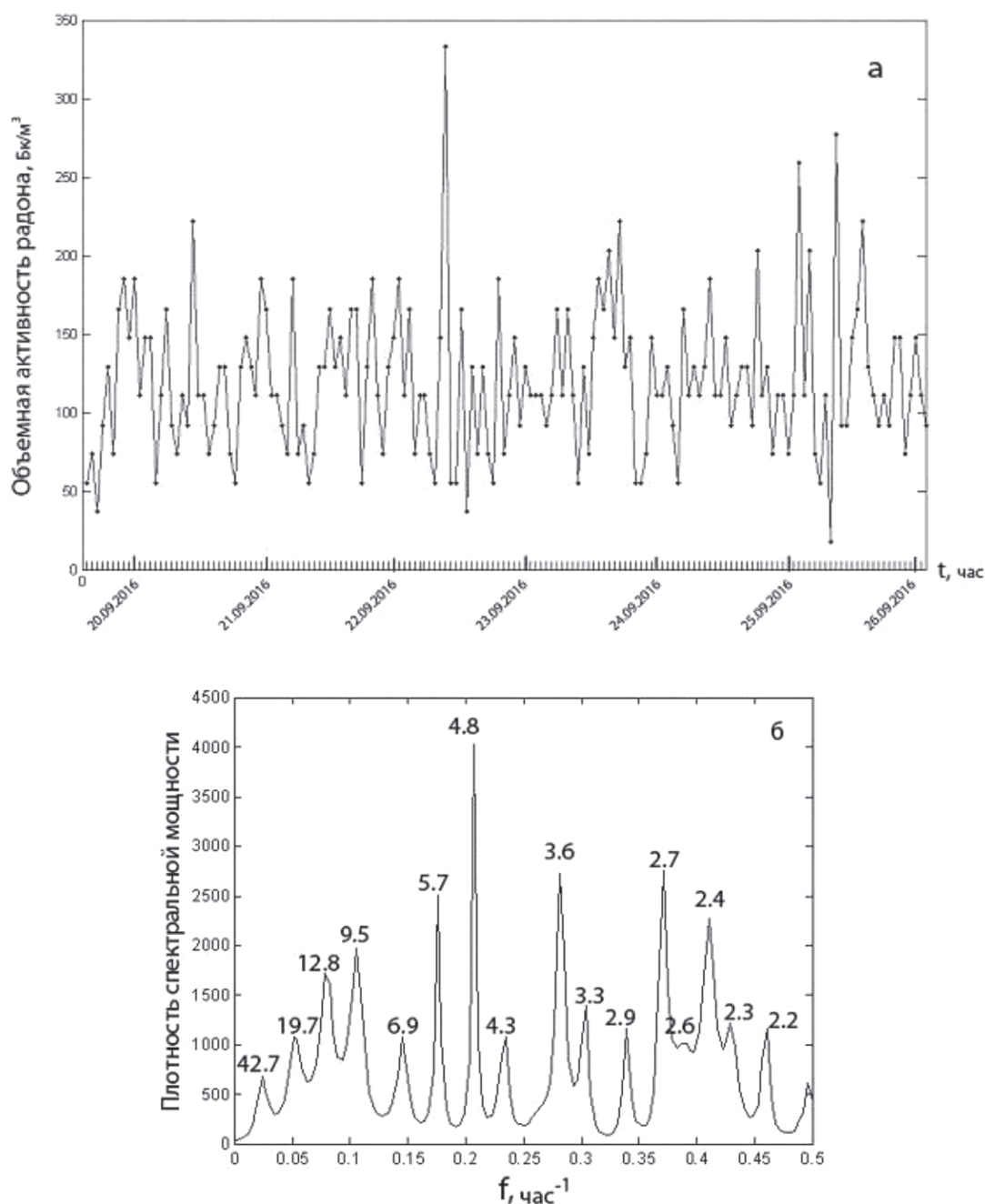


Рис. 3. Временной ряд объемной активности радона в подвальном помещении дома в д. Царевичи (а), его спектр (б), полученный методом максимума энтропии Бурга в системе компьютерной математики MATLAB

Заключение

Разработанный на базе сейсмической радоновой станции «СРС-05» аппаратно-программный комплекс ведет мониторинг объемной активности радона, торона, давления, температуры, влажности, передает полученные данные на ftp-сервер или конкретным пользователям. Входящие в состав

комплекса устройства обеспечивают связь с удаленными оператором и пользователями, не влияют на метрологические характеристики сейсмической радоновой станции «СРС-05». С помощью удаленного управления станцией проводят ее диагностику, изменяют режимы ее работы. Обслуживание и эксплуатацию комплекса облегчают

его малые габариты, вес, низкое энергопотребление. Время автономной работы комплекса, около двух недель, определено скоростью разрядки аккумуляторной батареи. Дистанционно контролируя заряд аккумуляторной батареи, управляя питанием станции, переключая ее при необходимости на резервные источники, можно существенно увеличить время автономной работы комплекса. Передаваемые редко малые порции данных минимизируют затраты на мобильную связь. Реализованные в комплексе коммуникативные свойства сейсмической радоновой станции «СРС-05» полезны в сложных ситуациях, требующих оперативного принятия решений.

Реализация в аппаратно-программном комплексе новых функциональных свойств сейсмической радоновой станции «СРС-05» повышает степень ее адаптации к внешним условиям, способствует ее превращению в интеллектуальный сенсорный модуль для мониторинга геолого-геофизических сред.

Авторы благодарят А.А. Котлярова за возможность ознакомиться с дополнительными материалами по сейсмической радоновой станции «СРС-05».

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития Петрозаводского государственного университета.

Список литературы

1. Бекман И.Н. Радон: друг, враг и помощник: учебное пособие. – М.: Изд. МГУ, 2000. – 13 с.
2. Etiope G., Martinelli G. Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 2002. – № 129. – P. 185–204.
3. Пулинец С.А., Узунов Д. Спутниковым технологиям нет альтернативы. О проблеме мониторинга природных и техногенных катастроф // *Гелиогеофизические исследования*. – 2010. – вып. 89. – С. 173–184.
4. Белашев Б.З., Горьковец В.Я. Экологические аспекты дегазации радона // *Энергия*. – 2015. – № 9. – С. 38–48.
5. Калаев В.Н., Буторина А.К., Мильшин А.В., Вахтель В.М., Бабенко А.Г. О возможностях нестохастических биологических эффектов при облучении радона в эквивалентных равновесных объемных активностях 200 и 400 Бк/м³ зебрины повислой // *Вестник ВГУ, серия Химия, Биология*. – 2001. – № 2. – С. 109–113.
6. Ионизирующие излучения: источники и биологические эффекты. Доклад на Генеральной Ассамблее ООН. – 1988. – Т. 1. – 882 с.
7. СРС-05 Сейсмическая радоновая станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ntm.ru/products/133/7282> (дата обращения: 17.04.2017).
8. Индикатор радона СИРАД МР-106 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dozimetri-msk.ru/indikator-radona-sirad-mr-106> (дата обращения: 17.04.2017).
9. Радиометр альфа-активных газов РГА-500 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.radek.ru/product/Apparaturadlya-izmereniya-radona/49/> (дата обращения: 14.04.2017).
10. DURRIDGE Company Inc [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.durridge.com/?gclid=COn5zy2sboCFcN7cAodYg0AOw> (дата обращения: 17.04.2017).
11. Лукьянов А.Ю., Когут А.А., Белашев Б.З. Программно-аппаратный комплекс мониторинга радона // *Труды Карельского научного центра РАН*. – 2014. – № 4. – С. 93–99.
12. Долгий К.А., Белашев Б.З. Программа для получения данных без спектра с сейсмической радоновой станции СРС-05. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2016617286; заявл. 4.05.2016; опубл. 29.06.2016. 1 с.
13. Анализаторы спектра реального времени Tektronix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.tek.com/analizator-spektra-0> (дата обращения: 17.04.2017).
14. Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер. – М.: Геос, 2005. – 476 с.