

УДК 539.165/166

**ТЕХНОЛОГИЯ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА: МАРКЕРЫ-ИНДИКАТОРЫ
ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ**

В. С. Яковлева¹, П. М. Нагорский², Г. А. Яковлев³

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30,

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10 / 3,

³ Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа «Эврика-Развитие», 634050, г. Томск, пер. Юрточный 8, стр. 1.

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

Выполнен анализ результатов экспериментальных исследований по влиянию природных и техногенных явлений на перенос радиоактивных газов и аэрозолей, а также на структуру и динамику ионизирующих излучений разных видов в грунте и приземной атмосфере. По результатам анализа произведена систематизация выявленных радиационных маркеров-индикаторов опасных природных и техногенных явлений. Разработан алгоритм мониторинга оптимального набора синхронно контролируемых радиационных маркеров-индикаторов опасных явлений. В алгоритме использовано правило «2+1» для определения оптимального набора радиационных маркеров-индикаторов.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, технология, ионизирующее излучение, маркер-индикатор

© Яковлева В. С., Нагорский П. М., Яковлев Г. А., 2016

MSC 81V35

**TECHNOLOGY OF RADIATION MONITORING: TRACERS-INDICATORS OF
DANGEROUS NATURAL AND TECHNOGENIC PHENOMENA**

V. S. Yakovleva¹, P. M. Nagorskiy², G. A. Yakovlev³

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Tomsk, Lenin st., 30 Russia,

² Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 634055, Tomsk, Akademicheskaya st., 10 / 3., Russia,

³ Municipal budget educational institution, Secondary School "Eureka-Development", 634050, Tomsk, Yrtochny side st. 8, build. 1., Russia.

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

The analysis of results of experimental investigation concerning the influence of natural and technogenic events on radioactive gas and aerosols dynamics as well as structure and dynamics of different types of ionizing radiation in soil and ground atmosphere was performed. The results of the analysis were used to carry out of classification of revealed radiation tracers-indicators of dangerous natural and technogenic phenomena. The algorithm of monitoring of optimum set of radiation tracers-indicators, which are measured simultaneously, of dangerous phenomena was developed. This algorithm uses the "2+1" rule for determining the optimum set of radiation tracers-indicators.

Key words: radiation monitoring, technology, ionizing radiation, dangerous phenomena, tracer-indicator

© Yakovleva V. S., Nagorskiy P. M., Yakovlev G. A., 2016

Введение

Развитие технологии радиационного мониторинга окружающей среды с целью выявления и/или прогнозирования опасных природных и техногенных явлений (ОЯ), актуальность и основные положения которой описаны в [1], предполагает многопараметрический подход. В научной литературе опубликована масса примеров, показывающих, что некоторые радиационные величины аномально (резкое увеличение или снижение) реагируют на то или иное природное или техногенное явление. В основном, это радиационные величины, из следующего списка:

характеристики полей радона в системе «грунт-атмосфера»

- объемная активность (ОА) i -го радионуклида (радона, торона, дочерних продуктов их распада) в воздухе приземной атмосферы на высоте z или в грунте на глубине h , A_{Vi} , измеряемая в Бк/м³;
- плотность потока радона с поверхности грунта $q_{Rn}(z=0)$, мБк/(м²·с);

характеристики атмосферных полей ионизирующих излучений

- плотность потока ионизирующего излучения (ИИ) вида j , P_j , в единицах 1/(м²·с);
- отношение плотностей потоков излучений разных видов, например P_γ/P_β ;
- мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения $\dot{H}^*(10)$, в единицах мкЗв/ч;
- мощность поглощенной дозы \dot{D}_j ионизирующего излучения вида j в единицах мкГр/ч.

Реакция радиационных величин на ОЯ зависит от геолого-географических условий и условий измерения (глубина или высота установки детектирующего устройства, время суток и года, и пр.). Поэтому, исследование реакции радиационных величин на интересующие ОЯ для обеспечения воспроизводимости и сопоставимости результатов следует производить в схожих условиях.

Другим важным моментом, который следует учитывать при усовершенствовании технологии радиационного мониторинга, является соблюдение принципов синхронности, универсальности и оптимизации (включая технический и экономический аспекты). Принцип синхронности наблюдений подразумевает необходимость одновременного контроля совокупности радиационных, атмосферно-электрических, метеорологических, актинометрических величин, факторов космической погоды и других внешних факторов, влияющих на перенос радионуклидов в атмосфере, радиоактивных газов в поверхностных слоях грунта, а также на распределение характеристик полей ИИ в верхних слоях литосферы и приземной атмосфере. При этом требуется большая частота дискретизации данных измерений, что позволит наиболее полно описывать динамические процессы, их взаимосвязи и изменения внутрисуточного, суточного и синоптического масштабов.

Принцип универсальности обеспечивает использование результатов радиационного мониторинга не только для контроля радиационной обстановки, но и для идентификации (в некоторых случаях прогноза) ОЯ, например: техногенных аварий; экстремальных климатических явлений; опасных геодинамических процессов, включая

землетрясения; и пр. Результаты также могут быть использованы для научных исследований и решения ряда прикладных задач в области геоэкологии, геофизики, инжиниринга, радиационной экологии и биологии. Актуальность темы подтверждает возросшее в последние годы количество конференций, посвященных обсуждению острых вопросов изучения воздействия слабых и сверхслабых излучений и физических полей (радиоактивных, электромагнитных, электрических, магнитных, гравитационных, акустико-гравитационных), малых и сверхмалых доз химических и других агентов на динамику окружающей среды и биологические объекты.

Самым сложным в развитии технологии радиационного контроля является реализация принципа оптимизации, который предполагает определение оптимального набора синхронно контролируемых радиационных величин, служащих маркерами-индикаторами опасных явлений. Например, в Томской обсерватории радиоактивности и ионизирующих излучений (ТОРИИ) одновременно ведется мониторинг около 30-ти радиационных и 80-ти метеорологических величин [1, 2].

Для идентификации только одного ОЯ такой большой набор измеряемых величин не требуется. К тому же это экономически не целесообразно и сложно в техническом плане. Оптимальный набор радиационных величин, которые при их синхронном мониторинге должны служить надежными и достоверными маркерами-индикаторами одного или ряда опасных явлений, следует определять для каждого конкретного случая в зависимости от поставленных целей и задач. Рекомендации по определению оптимального набора радиационных величин, которые при их синхронном мониторинге должны служить надежными и достоверными маркерами-индикаторами опасных явлений, были разработаны и изложены в [2].

Основными задачами данной работы являлись: анализ и систематизация выявленных радиационных маркеров-индикаторов опасных явлений и разработка алгоритма мониторинга оптимального набора синхронно контролируемых радиационных маркеров-индикаторов ОЯ в асейсмичном регионе.

Радиационные маркеры-индикаторы ОЯ

Совместный анализ данных радиационного мониторинга в ТОРИИ, результатов наблюдений в ИМКЭС СО РАН за динамикой метеорологических, актинометрических и электрических величин, результатов численных экспериментов по переносу ионизирующих излучений в атмосфере и грунте, переносу изотопов радона и дочерних продуктов их распада, а также данных, опубликованных в научной литературе [1–15], позволил произвести анализ и систематизацию выявленных радиационных маркеров-индикаторов опасных природных и техногенных явлений. Результаты по влиянию метеорологических величин и ОЯ на радиационные величины сведены в таблицу 1. Для ряда параметров указана степень влияния таких опасных явлений, как грозы, дождевые и ливневые осадки, сильный снегопад, быстрое изменение температуры и давления, сильный туман (мгла), изменение напряженно-деформированного состояния земной коры, а также радиационных инцидентов на радиационные величины, измеряемые в грунте и приземной атмосфере.

Выбор и оценка радиационных трассеров базировалась на регистрации и анализе отклонений зарегистрированных величин от их невозмущенных значений во временной, частотной и (или) пространственной области. Учитывалось также, что эти невозмущенные значения, в свою очередь, могут испытывать вариации, обусловлен-

ные более продолжительными процессами. Во многих случаях таким процессом с наименьшим периодом, значительно превосходящим масштаб анализируемых опасных явлений, был рассмотрен годовой цикл. На годовом интервале было проанализировано фоновое состояние и аномалии радиационных трассеров.

Анализ опубликованных и собственных результатов расчетов и экспериментов показал, что характер изменения каждого из выявленных маркеров-индикаторов ОЯ имеет свои закономерности развития во время развития ОЯ, что так же может быть использовано на практике.

Таблица

Влияние метеорологических величин и опасных явлений на радиационные величины

ОЯ / метеовеличина	Приземная атмосфера					Земная поверхность	Грунт
	$P_{\gamma}, \dot{H}^*(10)$	$P_{\beta} (P_{\gamma}/P_{\beta})$	P_{α}	$A_{VRn, Tn}$	A_{VDP}	$q_{Rn}(z=0)$	A_{VRn}
1	2	3	4	5	6	7	8
Прохождение циклонов	Резкий всплеск	Резкий всплеск	Не выявлено	+	+	Рост ППР с поверхности земли в 2–4 раза в моменты развития циклонов; при прохождении антициклона в совокупности с увеличением давления – аномальное снижение величины ППР	-
Температура почвы и воздуха (градиент)	Приводит к суточным вариациям	Приводит к суточным вариациям	Приводит к суточным вариациям	Приводит к суточным вариациям	Приводит к суточным вариациям	Значимая положительная корреляция (0,81–0,91) величины ППР от температурного градиента в грунте на глубине от 15 до 80 см	Приводит к суточным вариациям
Атмосферное давление (градиент)	+	+	+	+	+	Изменяется в моменты резкой смены давления с обратной зависимостью	+
Скорость и направление ветра	+	+	+	+	+	-	-
Осадки (грозы)	Резкий всплеск	Резкий всплеск (во время грозовых явлений наблюдается резкий всплеск в отношении P_{γ}/P_{β})	-	Не влияет	Сильное снижение в атмосфере, и увеличение на поверхности земли	В периоды выпадения дождевых осадков ППР заметно снижается. После окончания дождя ППР восстанавливается до своего среднего уровня через 1,5–2 дня, в зависимости от интенсивности осадков. Длительный дождь, приводящий к подъему верхней границы грунтовых вод, может снизить ППР, не влияя при этом на величину ППТ	Высокоинтенсивные – аномальное увеличение в разы со снижением до фоновых уровней в течение нескольких суток
Сильный снегопад	Резкий всплеск	Резкий всплеск	+	Не выявлено	+	Не выявлено	Не выявлено
Сильный туман, сильная мгла, задымленность от пожаров	+	+	+	-	-	-	-
Землетрясение, вулканическая активность, (вибровоздействие на грунт)	-	-	-	-	-	Реагирует по-разному в зависимости от геолого-географических условий	Реагирует аномально в зависимости от геолого-географических условий
Радиационные инциденты (аварии)	Аномальное увеличение (после аварии на Фукусиме наблюдались резкий [9] всплеск в отношении P_{γ}/P_{β})	-	-	-	-	-	-

+ – радиационная величина реагирует не однозначно, в зависимости от многих факторов, требуются дополнительные исследования;

– информация отсутствует.

Результаты анализа реакции трассеров-индикаторов на такие ОЯ, как экстремально низкие температуры и экстремально высокое атмосферное давление, на прохождение серии циклонов, а также на ОЯ, связанные с ограничением дальности видимости (туманы, мгла, задымленность атмосферы от лесных пожаров) детально изложены в [2, 16].

Далее, в качестве примера рассмотрим следующую группу ОЯ: грозы; шквалы; интенсивные ливневые осадки и другие ОЯ, связанные с прохождением фронтов и внутримассовыми явлениями. Пример части данных, зарегистрированных во время таких ОЯ как серия грозовых явлений, приведен на рис. 1.

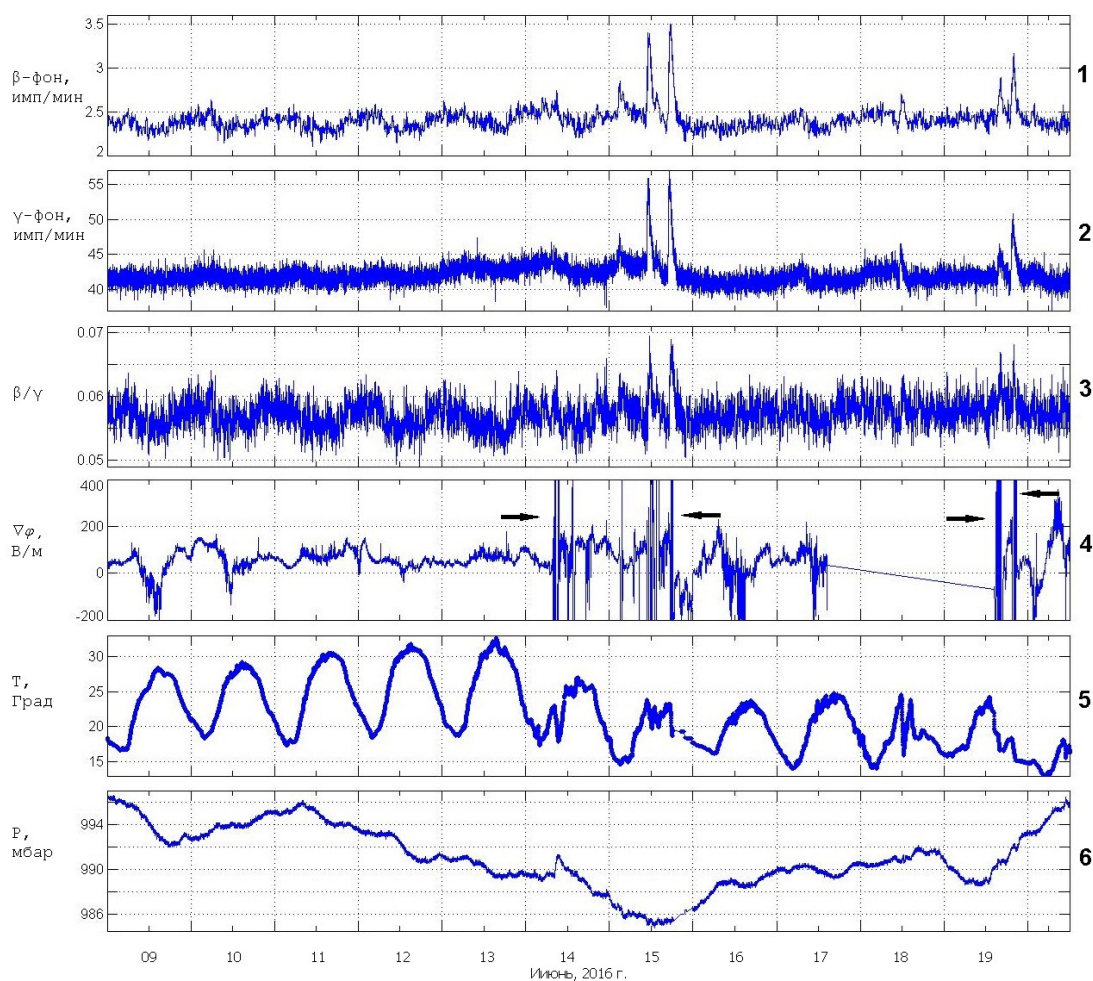


Рис. 1. Вариации фона ионизирующей и метеорологических величин

На этом рисунке зафиксирована серия гроз, которые привели к возмущениям (всплескам) в уровнях радиационных величин, выбранных в качестве маркеров-индикаторов ОЯ. На рис. 1 панели 1–3 представляют, соответственно, атмосферный β -фон, γ -фон и β/γ -трассер, панели 4–6 показывают, соответственно, градиент электрического потенциала, атмосферные температура и давление. Отклики на данное

ОЯ в вариациях градиента электрического потенциала указаны горизонтальными стрелками на панели 4.

На рис. 2 представлены те же данные по ионизирующей радиации, пропущенные через полосовой фильтр с полосой пропускания от доли часа до полутора суток

$$\Delta f = \frac{1}{0.333} \div \frac{1}{36}.$$

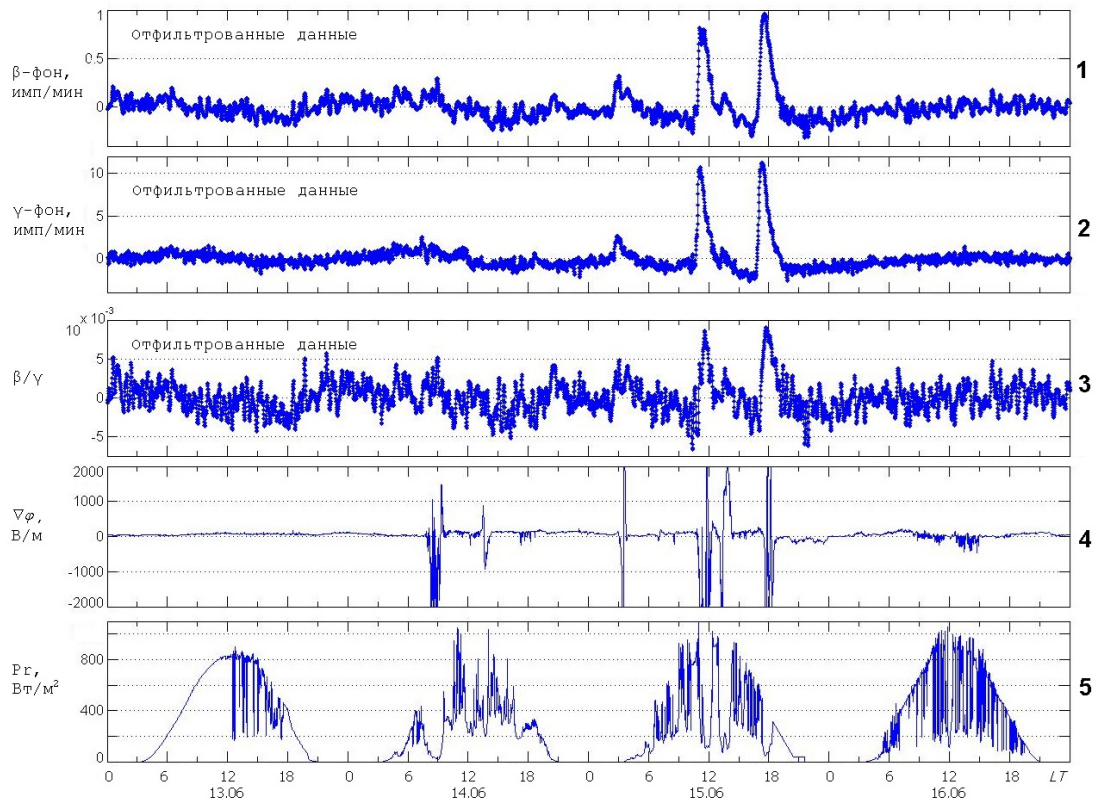


Рис. 2. Отфильтрованные вариации радиационных и метеорологических величин

На рис. 2 использованы следующие обозначения. Панели 1–3 представляют, соответственно, атмосферный β -фон, γ -фон и β/γ -трассер, панели 4 и 5 показывают динамику градиента электрического потенциала и приходящей солнечной радиации в видимом диапазоне, соответственно. Полоса пропускания может подстраиваться на конкретное ОЯ. В данном случае при обработке использовалась весьма широкая полоса. Для ОЯ, связанных с грозами, оптимальная нижняя частота среза должна быть $\approx 1/12$.

На этом же рисунке помещены данные по градиенту потенциала и приходящей солнечной радиации видимого диапазона.

Отфильтрованные данные были подвергнуты вейвлет-обработке, целью которой был анализ отклика на данное ОЯ. Результаты вейвлет-анализа и вариации амплитуд отдельных спектральных составляющих представлены на рис. 3.

Вейвлет-анализ показал, что более значимо на грозовые явления реагирует комбинация двух радиационных величин – β/γ -трассер, который характеризует β - и γ -фон приземной атмосферы. Величина β/γ -трассера в данном случае определялась как отношение плотности потока β -излучения и мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы γ -излучения.

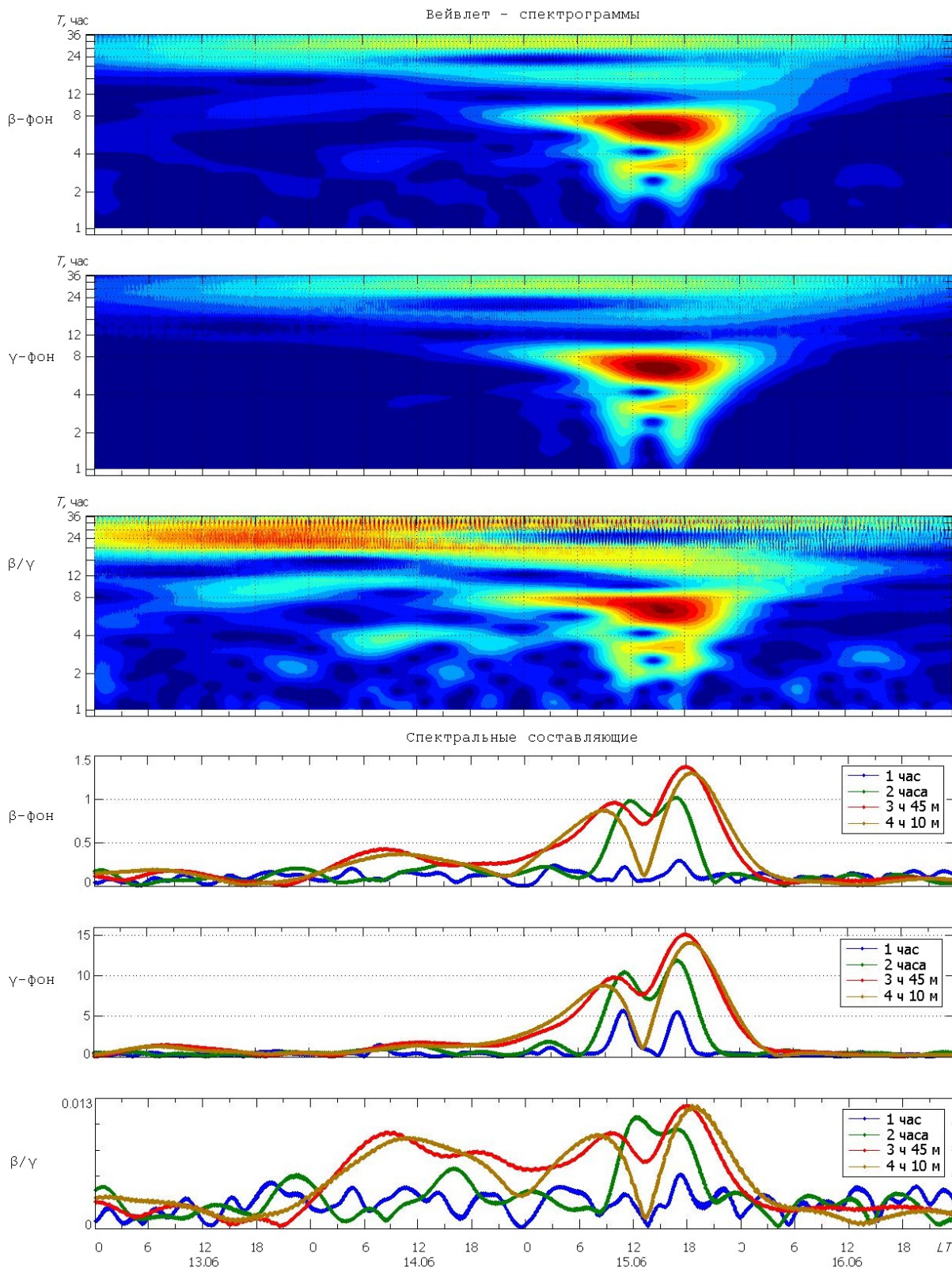


Рис. 3. Вейвлет-спектрограммы вариации ионизирующей радиации (β -фон, γ -фон и β/γ -трассер) и вариации амплитуды в отдельных спектральных каналах

Алгоритм мониторинга оптимального набора синхронно контролируемых радиационных маркеров-индикаторов опасных явлений

С учетом результатов анализа данных радиационного мониторинга в ТОРИИ был разработан алгоритм мониторинга оптимального набора синхронно контролируемых радиационных маркеров-индикаторов опасных явлений, который схематически представлен на рис. 4.



Рис. 4. Алгоритм мониторинга оптимального набора синхронно контролируемых радиационных маркеров-индикаторов опасных явлений

Алгоритм основан на рекомендациях по определению оптимального набора синхронно контролируемых радиационных маркеров-индикаторов ОЯ [2], а также содержит правило «2+1». Это правило означает, что оптимальный набор должен включать не менее 3-х радиационных величин (или их отношений) аномально реагирующих на исследуемое ОЯ, две из которых могут аномально реагировать также и на другие ОЯ, а одна – только на исследуемое.

Разработанный алгоритм может быть использован как для индикации одного опасного явления, так и их комбинации в сейсмически пассивном или активном регионе.

Закрывающей стадией является обработка данных с помощью методики тематической обработки архивных данных мониторинга метеорологических величин и характеристик полей ионизирующей радиации, которые предназначены для формирования библиотеки данных о повторяемости и интенсивности экстремальных опасных явлений. Разработанная методика детально изложена в работе [16].

Предложенный алгоритм может быть использован в любых экспериментальных исследованиях в соответствии с поставленной задачей и применительно к интересующим опасным явлениям.

Новый подход, используемый в предложенной технологии радиационного мониторинга [1], который включает синхронные измерения динамики характеристик полей излучений разных видов в системе "грунт-приземная атмосфера" в вертикальном разрезе, а также метеорологических, атмосферно-электрических и актиметрических величин является новым и авторским.

Выбор количества и диапазоны высот установки приборов для измерения радиационных величин (детекторов ИИ, радиометров, спектрометров) определяется особенностями и/или закономерностями временной и пространственной динамики этих величин в исследуемых средах. Для радиоактивных газов и аэрозолей следует учитывать, что изменение турбулентности атмосферы сильно изменяет вертикальный профиль объемной активности радона, торона и продуктов их распада, а также других радионуклидов, особенно у земной поверхности и приводит к существенным вариациям радиационных величин. Согласно экспериментальным и теоретическим оценкам [17], для уточнения влияния турбулентности атмосферы необходим охват как минимум трех высот контроля.

Количество глубин (скважин) контроля и рекомендуемые диапазоны глубин установки детекторов ИИ могут быть определены исходя из известных закономерностей переноса радиоактивных газов в грунте.

Известно, что на глубинах до 1 метра активность радона может существенно изменяться во времени в зависимости от метеоусловий, состояния атмосферы и грунта. При этом нарушается радиоактивное равновесие в радиоактивных рядах после изотопов радона. Это является следствием «утечки» радона (и торона) из грунта в приземную атмосферу. Поэтому, для мониторинга необходимо охватить не менее 2-х глубин, для того, чтобы можно было оценивать характеристики переноса радона в грунте (ППР, коэффициент диффузии радона, равновесное значение ОА радона и глубину, на которой устанавливается это равновесие). При соблюдении условия, что вторая глубина в 2 раза больше 1-й, позволит производить расчет плотности потока радона из простого аналитического выражения на основе диффузионно-адвективной модели переноса [17] с целью дополнительной проверки измеренных значений ППР.

Заключение

Выполнен анализ результатов собственных экспериментальных исследований и исследований других научных коллективов по влиянию природных и техногенных явлений на перенос радиоактивных газов и аэрозолей, а также на структуру и динамику ионизирующих излучений разных видов в грунте и приземной атмосфере. По результатам анализа произведена систематизация выявленных радиационных маркеров-индикаторов опасных природных и техногенных явлений.

Разработан алгоритм мониторинга оптимального набора синхронно контролируемых радиационных маркеров-индикаторов опасных явлений, включающий правило «2+1».

Полученные результаты полезны для дальнейшего совершенствования технологии радиационного мониторинга оптимального набора синхронно контролируемых маркеров-индикаторов опасных явлений, создания новых и модернизации уже существующих систем радиационного контроля окружающей среды. Тема настоящего исследования на протяжении многих лет остается актуальной и соответствует современным мировым научным тенденциям и критической технологии РФ (Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения).

Информация о структуре и динамике атмосферных и почвенных полей радона, а также характеристик полей ионизирующих излучений, необходима не только для решения задач индикации опасных явлений и прогнозирования изменения климата. Она также представляет особый интерес в различных областях знаний, таких как радиационная биология и радиационная безопасность – при оценках фоновых доз облучения населения, радиационная экология – при оценках радоноопасности территорий, в геофизике – для прогноза напряжённо-деформированного состояния земной коры, физике атмосферы – для оценок плотности ионизации приземной атмосферы, и пр.

Работа выполнена при поддержке ФЦП 14.575.21.0105 (RFMEFI57514X0105) Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

- [1] Яковлева В. С., Нагорский П. М. Развитие технологии радиационного мониторинга в городской среде, *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, **1(10)** (2015), 65-71; англ. перевод: Yakovleva V. S., Nagorskiy P. M., “The development of radiation monitoring technology for urban environment”, *Bulletin KRASEC. Physical Mathematical Sciences*, 2015, № 1(10), 65–71.
- [2] Нагорский П. М., Яковлева В. С., Черепнев М. С., Яковлев Г. А., “Радиационные величины как трассеры/индикаторы экстремальных явлений на территории западной Сибири”, *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, **1(12)** (2016), 94-106; англ. перевод: Nagorskiy P. M., Yakovleva V. S., Cherepnev M. S., Yakovlev G. A., “Radiation values as tracers/indicators of extremal phenomena at the territory of west Siberia”, *Bulletin KRASEC. Physical Mathematical Sciences*, 2016, № 1(12), 94–106.
- [3] Firstov P.P., Yakovleva V.S., Shirokov V.A., Rulenko O.P., Filippov Yu.A., Malysheva O.P., “The nexus of soil radon and hydrogen dynamics and seismicity of the northern flank of the Kuril-Kamchatka subduction zone”, *Annals of Geophysics*, **50:4** (2007), 547–556.
- [4] Saeed A. Durrani, Radomir Ilic., *Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection, Earth Sciences, and the Environment*, World Scientific, Singapore, 1997, 387 pp.
- [5] Burnett J.L., Croudace I. W., Warwick P.E., “Short-lived variations in the background gamma-radiation dose”, *Journal of Radiological Protection*, **30:3**, 525-532.
- [6] Mercier J.-F., Tracy B.L., d’Amours R., Chagnon F., Hoffman I., Korpach E.P., Johnson S., Ungar R.K., “Increased environmental gamma-ray dose rate during precipitation: a strong correlation with contributing air mass”, *Journal of Environmental Radioactivity*, **100:7** (2009), 527–533.
- [7] Hosoda M., Shimo M., Sugino M., Furakawa M., Fukushi M., “Effect of Soil Moisture Content on Radon and Thoron Exhalation”, *J. Nucl. Sci. Technol*, **44:4** (2007), 664–672.
- [8] Cosma C., Ristoiu I. D., Poffijn A., *Radon in the Living Environment*, Athens, Greece, 1999.

- [9] Ryabkina K. S., Kondratyeva A. G., Nagorskiy P. M., Yakovleva V. S., "Investigation of seasonal dynamics of β - and γ -radiation fields vertical profile in the surface atmospheric layer", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, **135** (2016), 012036.
- [10] Nagorskiy P. M., Yakovleva V. S., Makarov E. O., Firstov P. P., Kondratyeva A. G., Stepanenko A. A., "Radioactive γ/β tracer to explore dangerous technogenic phenomena", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, **135** (2016), 012031.
- [11] Yakovleva V. S., Nagorskiy P. M., Cherepnev M. S., Kondratyeva A. G., Ryabkina K. S., "Effect of precipitation on the background levels of the atmospheric β - and γ -radiation", *Applied Radiation and Isotopes*, **118** (2016), 190–195.
- [12] Адушкин В.В., Спивак А.А., Кожухов С.А., Кукушкин Ю.В., "Резонансные особенности эсхалации природного радона", *Доклады РАН*, **400**:4 (2005), 369–371, [Adushkin V. V., Spivak A. A., Kozhukhov S. A., Kukushkin Yu. V. Rezonansnye osobennosti eskhalyatsii prirodnogo radona. Doklady RAN. 2005. 400:4. 369–371 (in Russian)].
- [13] Паровик Р.И., Фирстов П.П., "Апробация новой методики расчета плотности потока радона с поверхности (на примере Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона)", *АНРИ*, 2009, № 3, 52–57, [Parovik R. I., Firstov P. P. Aprobatsiya novoy metodiki rascheta plotnosti potoka radona s poverkhnosti (na primere Petropavlovsk-Kamchatskogo geodinamicheskogo poligona). ANRI. 2009. 3. 52–57 (in Russian)].
- [14] Яковлева В.С., Нагорский П.М., Черепнев М.С., "Формирование α -, β - и γ - полей приземной атмосферы природными атмосферными радионуклидами", *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, **1(8)** (2014), 86-96; англ. пер.:Yakovleva V. S., Nagorskiy P. M., Cherepnev M. S., "Generation of ground atmosphere α -, β - and γ -fields by natural atmospheric radionuclides", *Bulletin KRASEC. Physical Mathematical Sciences*, 2014, №1(8), 86–96.
- [15] Соболев А.И., Тихомиров В.А., Вербова Л.Ф., Митронова Ю.Н., Жунов И.К., "Актуальные проблемы анализа результатов радиационно – экологического мониторинга Москвы", *Фундаментальные исследования*, 2005, №6, 74-75, [Sobolev A. I., Tikhomirov V. A., Verbova L. F., Mitronova Yu. N., Zhunov I. K. Aktual'nye problemy analiza rezul'tatov radiatsionno – ekologicheskogo monitoringa. Moskvu. Fundamental'nye issledovaniya. 2005. 6. 74-75 (in Russian)].
- [16] Нагорский П. М., Яковлева В. С., Пустовалов К.Н., Смирнов С.В., Черепнев М. С., Яковлев Г.А., "Мониторинг городской среды Сибири: принципы формирования базы данных об опасных метеорологических явлениях", *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, **3(14)** (2016.), 53-63; англ. перевод:Nagorskiy P. M., Yakovleva V. S., Pustovalov K.N., Smirnov S.V., Cherepnev M. S.,Yakovlev G.A., "Environmental monitoring in Siberia: approaches to creation of database of dangerous weather events", *Bulletin KRASEC. Physical Mathematical Sciences*, **3(14)** (2016), 54-64.
- [17] Яковлева В.С., *Методы и приборы контроля полей α -, β -, γ -излучений и радона в системе "грунт-атмосфера"*, диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : спец. 05.11.13. Национальный исследовательский Томский политехнический университет 3.12.2013 г., Томск, 2013, [Yakovleva V. S. Metody i pribory kontrolya poley α -, β -, γ -izlucheniya i radona v sisteme "grunt-atmosfera" dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk : spets. 05.11.13. Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy politekhnicheskii universitet 3.12.2013. Tomsk. 2013 (in Russian)].

Поступила в редакцию / Original article submitted: 28.08.2016