

УДК 551.594.1+551.594.2+551.515.4

Научная статья

Предварительные результаты анализа вариаций бета-фона приземной атмосферы, обусловленных ливневыми осадками

В. С. Яковлева¹, П. М. Нагорский², Г. А. Яковлев³, А. С. Зелинский¹, К. Н. Пустовалов^{2,3}, С. В. Смирнов², И. В. Беляева⁴

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

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

³ Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Россия

⁴ Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, пл. Соляная, 2, Россия.

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния количества и интенсивности атмосферных ливневых осадков на формирование β -фона в поверхностном слое атмосферы. Показано, что β -фон является чувствительным индикатором ливневых осадков. Экспериментально установлено, что увеличение плотности потока β -излучения совпадает с периодами выпадения ливневых осадков, и коррелирует с текущим значением количества осадков. По форме отклика β -фона можно определять начало и конец выпадения ливневых осадков. Производная от отфильтрованной плотности потока β -излучения по времени коррелирует с интенсивностью ливневых осадков.

Ключевые слова: бета-излучение, бета-фон, ливневые осадки, приземная атмосфера, динамика, интенсивность осадков

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-31-2-139-149

Поступила в редакцию: 18.05.2020

В окончательном варианте: 09.06.2020

Для цитирования. Яковлева В. С., Нагорский П. М., Яковлев Г. А., Зелинский А. С., Пустовалов К. Н., Смирнов С. В., Беляева И. В. Предварительные результаты анализа вариаций бета-фона приземной атмосферы, обусловленных ливневыми осадками // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2020. Т. 31. № 2. С. 139-149. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-31-2-139-149

Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Яковлева В. С. и др., 2020

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке госбюджетной темы IX.135.1 номер госрегистрации АААА-А17-117013050031-8

Введение

Природа предоставила нам прекрасные трассеры-индикаторы контроля изменений состояния окружающей среды, такие, как природные радионуклиды. Общеизвестно, что источниками радиационного фона приземной атмосферы являются радионуклиды, содержащиеся в грунте, атмосферном воздухе, объектах техносферы, а также космическая радиация. Пространственно-временные вариации радиационного фона, активности радиоактивных газов и аэрозолей в приземной атмосфере, газов в поверхностном слое грунта, являются следствием различных процессов и явлений, происходящих в окружающей среде.

Использование радиационных трассеров-индикаторов ограничивается, в основном, контролем γ -фона для индикации радиационных инцидентов, атмосферному β -фону почти не уделяется внимания, не смотря на то, что дозу облучения населения формирует именно заряженная компонента, относящаяся к непосредственно ионизирующему излучению. В связи с этим, изучение атмосферного β -фона, его величины и изменчивости, является важной задачей в области исследования влияния на живые организмы малых доз радиации.

Почвенные радиоактивные газы и атмосферные радионуклиды являются одними из основных компонентов атмосферного радиационного фона. Они являются отличными индикаторами различных атмосферных и геофизических процессов, так же как и их излучение.

Мониторинг радиационного фона приземного слоя атмосферы показал, что его величина не постоянна и зависит от различных факторов, таких как состояние атмосферы, время суток, время года и географическое положение региона. Во время выпадения осадков в жидкой фазе наблюдается аномальное увеличение (всплески) радиационного γ -фона [1]-[4]. Это явление объясняется процессами вымывания короткоживущих γ -излучающих продуктов распада радона и торона из атмосферы на поверхность почвы и даже получило собственное название «radon washout» [3]. Попытки найти взаимосвязь между интенсивностью или количеством осадков и величиной всплесков мощности дозы γ -излучения были предприняты ранее в работах [1, 2], но значимой взаимосвязи обнаружено не было. К сожалению, влияние осадков на поведение других типов ионизирующих излучений ранее не изучалось другими исследовательскими группами.

Чтобы установить количественную зависимость между характеристиками осадков и величиной всплеска радиационного фона приземной атмосферы, радиационный мониторинг необходимо синхронизировать с измерением динамики интенсивности осадков. Измерения обязательно должны быть выполнены с хорошим временным разрешением¹, позволяющим проводить не только качественный, но и количественный анализ. Кроме того, аппаратура радиационного и метеорологического мониторингов не должна быть пространственно разнесена.

Учитывая вышеизложенное, цель настоящей работы — анализ отклика радиационного фона поверхностной атмосферы на интенсивные осадки, а именно: особенности реакции β -фона приземной атмосферы на количество и интенсивность ливневых осадков.

¹Количество выпавших осадков на сети метеостанций Росгидромета определяется дважды в сутки.

Приборы и методы радиационного и метеорологического мониторинга

Научными коллективами ТПУ и ИМКЭС СО РАН с 2009 г. был инициирован и осуществляется радиационный мониторинг приземной атмосферы с использованием более 30-ти детекторов ионизирующих излучений.

На экспериментальных площадках геофизической обсерватории (ГО) ИМКЭС СО РАН совместно с собственным приборным парком было установлено оборудование для радиационного мониторинга Томской обсерватории радиоактивности и ионизирующего излучения (ТОРИИ) при ТПУ (рис. 1).



Рис. 1. Вид сверху на экспериментальную площадку ГО ИМКЭС СО РАН

Схема расположения оборудования приведена в [5]. В настоящее время производятся синхронные измерения временной и пространственной динамики характеристик полей ионизирующих излучений различного вида с высокой частотой дискретизации регистрации данных от 1 минуты.

Для мониторинга заряженной компоненты радиационного фона используются сцинтилляционные детекторы β -излучения БДПБ-01 и α -излучения БДПА-01, для мониторинга нейтральной (незаряженной) компоненты установлены детекторы гамма-излучения БДКГ-03, БДКР-01 и БДКН-01 (все детекторы производства АТОМТЕХ, Республика Беларусь). Детекторы установлены на серии высот до 35 м и глубин до 1 м (в скважинах).

Метеорологическая мачта, на которой установлены детекторы ионизирующего излучения на высотах 1 м, 5 м и 10 м, показана на рис. 2.

Мониторинг динамики радона в почве производится по α -излучению и β -излучению с использованием таких же сцинтилляционных детекторов β -излучения БДПБ-01 и α -излучения БДПА-01. Детекторы работают в режиме счета. Скважины укреплены пластиковыми трубами и сверху закрыты заглушками, которые необходимы для изоляции от тепла и влаги. По изменению объемной активности радона в почвенном воздухе на глубинах 0.5 и 1 м определяется величина плотности потока радона из грунта в приземную атмосферу, которая прямо пропорциональна активности радона и его короткоживущих β -излучающих продуктов распада.

Для выявления основных влияющих факторов мониторинг метеорологических (температура воздуха, давление, относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра, температура поверхности и температуры почвы), актинометрических и атмосферно-электрических параметров проводится с использованием автоматизированной информационно-измерительной системы ГО ИМКЭС СО РАН. Подробные данные об интенсивности осадков были получены с высоким временным



Рис. 2. Внешний вид метеорологической мачты с установленными детекторами ионизирующих излучений ТОРИИ

разрешением с помощью челночного и лазерного осадкомеров. Далее в работе интенсивность и общее количество осадков определялись по данным челночного осадкомера Rain Collector II (Davis Instruments, США), который позволяет измерять сумму осадков от 0 до 1000 мм с точностью 0.2 мм.

Общая картина экспериментальных результатов

В ходе многолетних исследований динамики характеристик полей ионизирующих излучений в приземной атмосфере были обнаружены всплески, синхронно регистрирующиеся с периодами выпадения дождевых осадков. Общая картина синхронно проявляющихся всплесков в атмосферном β -фоне на высоте 1 м и выпадающих осадков за лето-осень 2018 г. иллюстрируется рис. 3.

Время существования зарегистрированных синхронных всплесков колеблется от доли часа до нескольких часов и может достигать до полусуток.

Приведенные на рис. 3 графики наглядно показывают ту важную роль, которую играют осадки в динамике нестационарной компоненты фона ионизирующего излучения. Анализ данных показывает, что большинство всплесков совпадают с периодами выпадения осадков. При этом величина всплеска далеко не всегда коррелирует с интенсивностью осадков I , что согласуется с экспериментальными данными по γ -фону [1, 2, 4].

Рассмотрим более подробно структуру отдельного всплеска, серии всплесков в β -фоне и произведем анализ влияния ливневых осадков с учетом изменения метеорологического состояния приземной атмосферы на радиационный β -фон.

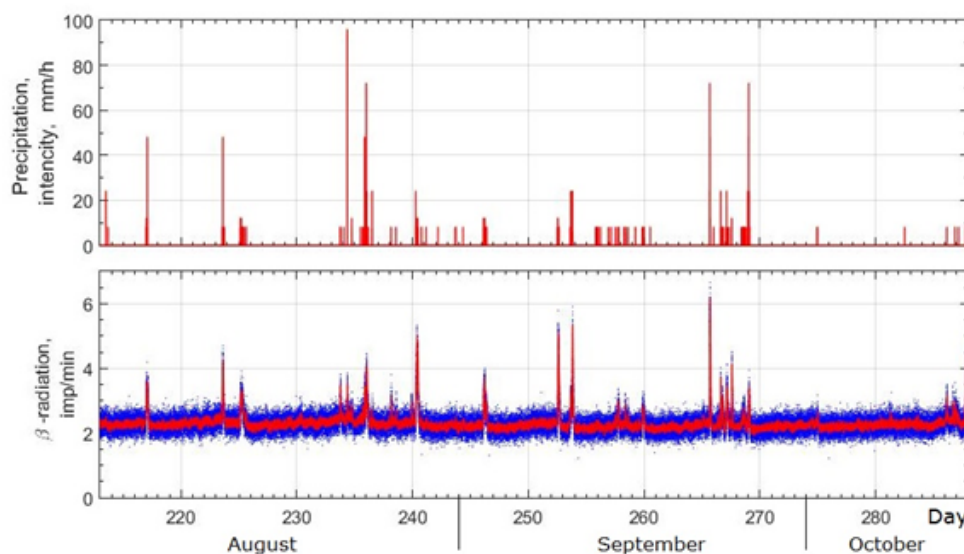


Рис. 3. Согласованная динамика радиационного β -фона (нижняя панель) и интенсивности выпадающих осадков (верхняя панель)

Результаты экспериментальных исследований β -фона и их анализ в зависимости от характеристик ливневых осадков

Вначале рассмотрим динамику изменения плотности потока β -излучения на высоте 1 м и во время одиночного интенсивного ливня, зарегистрированного 22.09.2018 г. (рис. 4).

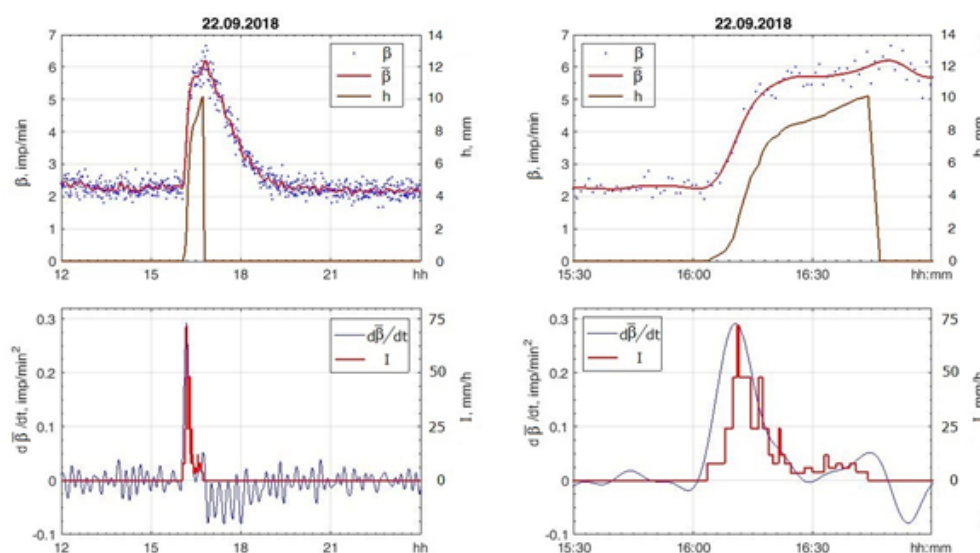


Рис. 4. Динамика β -фона и его производной, количества и интенсивности осадков за 22.09.2018 г. Верхние панели — вариации β -фона и нарастание количества выпавших осадков, нижние панели — интенсивность осадков и производная по времени от вариаций β -фона

Ливневые осадки, отмечавшиеся во вторую половину дня ($\sim 16:00$) 22 сентября 2018 г., были обусловлены прохождением над г. Томском облачной системы фронта окклюзии (циклон на ПФ²) вблизи точки слияния тёплого и холодного фронтов «точки окклюзии». В этот период времени в пункте наблюдения отмечалось прохождение кучево-дождевых облаков, с которыми были связаны ливневые осадки и грозы, а также прохождение слоисто-кучевых, высококучевых и перистых облаков.

На приведенном рисунке на левых панелях приведены вариации β -фона (реальные $\beta(t)$ и отфильтрованные $\bar{\beta}(t)$ данные), временная производная $d\bar{\beta}/dt$, а также текущее количество выпадающих осадков $h(t) = \int_t^t I(t') dt'$ [mm], где t, t' — время начала, текущее время и интенсивность выпадающих осадков $I(t)$ [mm/h]. Такт съёма данных во всех анализируемых экспериментах, составлял 1 минуту. Длительность анализируемого интервала во всех случаях равнялась 12 часам и выбиралась из следующих соображений: к концу интервала уровень β -фона должен был быть близок к начальному невозмущенному значению. На рис. 4 на панелях справа приведен фрагмент рассматриваемого события, охватывающий только интервал выпадения ливневых осадков.

Из данных, приведенных на рис. 4 следует, что возрастание уровня β -фона начинается практически одновременно с началом выпадения ливневых осадков и его рост согласуется с возрастанием текущего количества выпавших осадков. Уменьшение $I(t)$ сопровождается синхронным замедлением роста как $h(t)$, так и $\bar{\beta}(t)$. После окончания ливня в течение нескольких минут рост $\bar{\beta}(t)$ продолжается, что связано с наработкой β -излучающих продуктов распада радона ^{214}Bi и ^{218}Pb при распаде осажженного α -излучающего изотопа ^{218}Po с периодом полураспада $T_{1/2} = 3.05$ минут. Затем начинается плавное квазиэкспоненциальное уменьшение уровня β -фона за счёт радиоактивного распада ^{214}Bi и ^{218}Pb , который через ~ 2.5 часа возвращается к невозмущенному значению.

Возрастание уровня β -фона оказывается согласованным с возрастанием текущего количества выпавших осадков, поэтому аналогичное согласование должно наблюдаться и в случае сопоставления скорости изменения β -фона ($d\bar{\beta}/dt$) и интенсивности выпадающих осадков I . Поскольку текущий уровень β -фона можно представить в виде суммы регулярной и шумовой составляющих $\beta(t) = \bar{\beta}(t) + \tilde{\beta}(t)$, то перед вычислением $d\beta/dt$ необходимо отфильтровать шумовую составляющую $\tilde{\beta}(t)$. Опытным путем было установлено, что для подавления шумовой составляющей, достаточного для вычисления производной β -фона, необходим фильтр с частотой среза $f_b \sim 1/0.2 [h^{-1}]$. Временные зависимости $\beta(t)$ и $\bar{\beta}(t)$ приведены на верхних, а $d\bar{\beta}/dt$ — на нижних панелях рис. 4. Составляющая вариаций $d\bar{\beta}(t)/dt > 0$ хорошо коррелирует с интенсивностью ливневых осадков, а $d\bar{\beta}(t)/dt < 0$ — с плавным уменьшением уровня β -фона. Таким образом, сопоставление вариаций $d\bar{\beta}(t)/dt$ и $I(t)$, представленных на рис. 4, убедительно показывает, что скорость возрастания β -фона тесно связана с интенсивностью ливневых осадков.

Динамика спектрального состава $d\bar{\beta}/dt$ до, во время и после интенсивного ливня иллюстрируется рис. 5, на котором приведены вейвлет-спектры вариаций $d\bar{\beta}/dt$. Для анализа был использован комплексный вейвлет Морле. Квазиимпульсный вид

²АФ, ПФ — Арктический и Полярный основные (главные) фронты, разделяющие арктическую/умеренную и умеренную/тропическую воздушные массы соответственно, на каждом из которых развиваются фронтальные циклоны, имеющие на определённых этапах своего развития тёплый фронт, холодный фронт и фронт окклюзии; АВ, УВ, ТВ — Арктическая, Умеренная и Тропическая воздушные массы.

интенсивности ливневых осадков, приводящий к аналогичному виду вариаций $d\bar{\beta}/dt$, приводит к появлению возмущений в вейвлет-спектре практически во всем анализируемом диапазоне масштабов (периодов). Уменьшение уровня β -фона после ливня приводит к появлению в вейвлет-спектре моды с изменяющимся от ~ 15 до ~ 20 минут периодом, время существования которой составляет не менее двух часов.

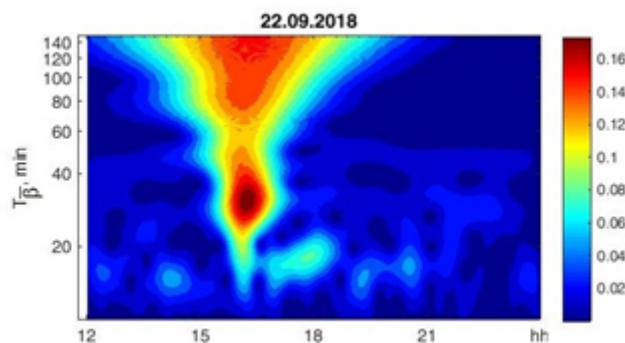


Рис. 5. Вейвлет-спектр вариаций $d\bar{\beta}/dt$, ось абсцисс — местное время, ось ординат — масштаб (период) вариаций

Поскольку β -фон создается β -излучением радионуклидов ^{214}Bi и ^{218}Pb , осажденных ливневыми осадками на земную поверхность, следовательно, по величине производной от плотности потока β -излучения по времени, превышающей уровень шумовой составляющей, можно оценивать тонкую структуры интенсивности ливневых осадков.

Перейдем к анализу случаев, для которых ливневые осадки имеют более сложную, многомодовую структуру.

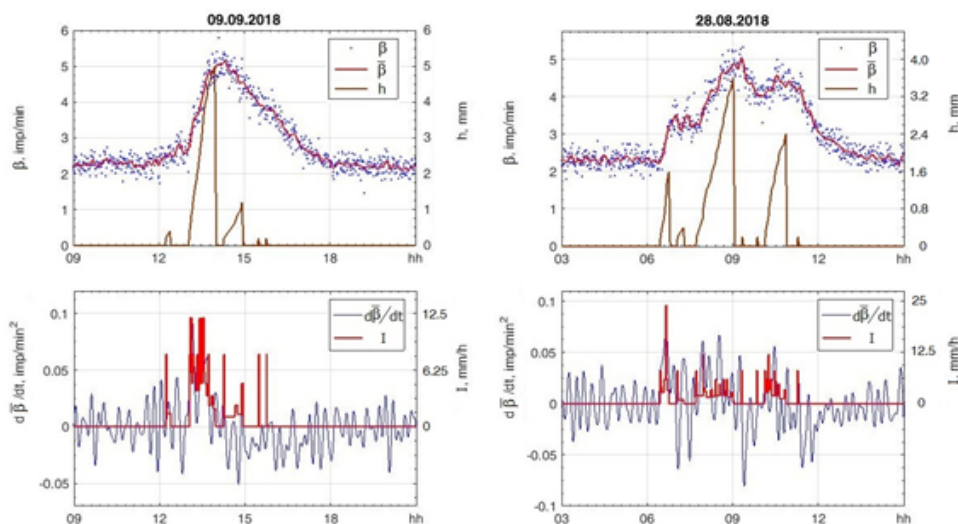


Рис. 6. Динамика β -фона и его производной, количества и интенсивности осадков во время серий ливней 09.09.2018 г. (слева) и 28.08.2018 г. (справа). Обозначения аналогичны рис. 4

На рис. 6 представлены два типичных случая выпадения серий ливневых осадков. Основные отличия между ними заключаются в следующем: а) интервалы между

отдельными ливнями 28.08.2018 г. в несколько раз больше, чем 09.09.2018 г.; б) суммы выпавших осадков отдельных ливней в серии за 28.08.2018 г. отличаются не более чем в два раза, а в серии за 09.09.2018 г. — в пять раз.

В первую половину дня ($\sim 7:00$) 28 августа 2018 г. над г. Томском отмечалось прохождение облачной системы фронта окклюзии (циклон на АФ), имеющей вид закрученной против часовой стрелки спирали. При этом пункт наблюдения располагался в непосредственной близости от центра данной «облачной спирали». В течении этого периода над г. Томском отмечалось прохождение кучево-дождевых облаков и выпадение осадков в виде ливневого дождя. 9 сентября 2018 г. вблизи полудня ($\sim 13:00$) над г. Томском зарегистрировано прохождение облачной системы холодного фронта (циклон на АФ), которой предшествовала облачность тёплого сектора. При этом в пункте вначале отмечалось прохождение слоистых облаков, сопровождаемых моросью и туманами, а затем кучево-дождевых облаков и ливневых осадков. Таким образом, в обоих случаях источниками ливневых осадков были циклоны на АФ.

Не смотря на близкие условия происхождения источников ливневых осадков реакция уровня β -фона в анализируемых случаях принципиально отлична: 28.08.2018 г. есть разделение в вариациях β -фона и его производной на отдельные кластеры, а 09.09.2018 г. это разделение отсутствует. Причинами такого различия могут быть указанные ранее основные отличия между анализируемыми случаями. Чем меньше временной промежуток между последовательными случаями осадков, тем более сглаженной оказывается форма отклика.

Рассмотрим реакцию β -фона во время серии кратковременных ливневых осадков, когда жидкая фаза замещается вначале смешанной, а затем — твердой фазой (рис. 7).

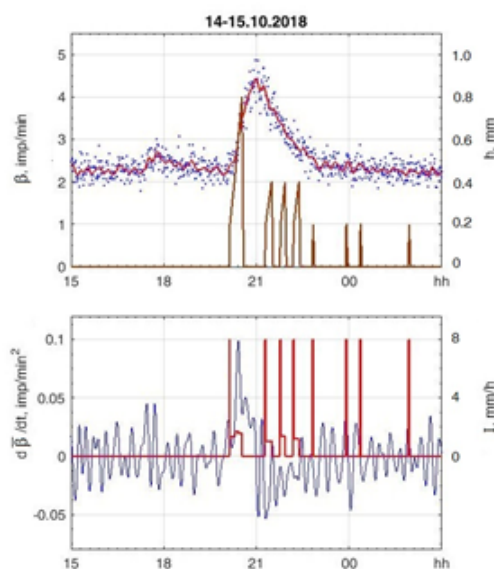


Рис. 7. Динамика β -фона и его производной, количества и интенсивности осадков во время серии ливней, зарегистрированных 14.10.2018, когда жидкие осадки переходят в твердые. Обозначения аналогичны приведенным на рис. 4

В этот день, во второй его половине пункт наблюдения располагался в арктической воздушной массе в тылу циклона, холодный фронт которого прошёл над г.

Томском ранее. Над пунктом наблюдения зарегистрировано прохождение внутримассовых высококучевых, слоисто-кучевых и кучево-дождевых облаков, выстроенных в параллельные ряды, идущие с интервалом ~ 5 км. С прохождением кучево-дождевых облаков были связаны осадки в виде ливневого дождя, переходящего к концу рассматриваемого периода в ливневый снег.

В вариациях фона и его производной отмечен только один пик, длительность которого не соответствует интервалу выпадения осадков, более того, последующие (после первого) кратковременные ливни с осадками в смешанной и твердой фазе не приводят к заметному возрастанию фона, а на самые последние ливни в этой серии — вообще нет никакой реакции β -фона. Причинами такой реакции уровня β -фона на серию ливневых осадков могут быть либо недостаточная интенсивность осадков в отдельно взятом ливне, либо смена фазового состояния осадков с жидкой фазы на твердую, которая покрывая земную поверхность представляет собой поглотитель для β -частиц. Учитывая, что интенсивность излучения для ^{218}Pb составляет 0.291 МэВ/расп., а для ^{214}Bi — 0.648 МэВ/расп., то средние пробеги β -частиц ^{218}Pb и ^{214}Bi составят, соответственно ~ 0.8 мм и ~ 2.5 мм [6].

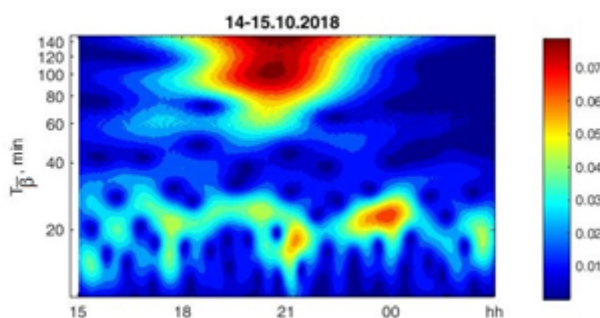


Рис. 8. Вейвлет-спектр вариаций производной β -фона по времени за 14.10.2018 г. Обозначения аналогичны рис. 5

Вместе с тем, согласно рис. 8, в вейвлет-спектре вариаций $d\bar{\beta}/dt$ после первого в серии ливня формируется мода с переменным периодом от 15 до 30 минут. Следует отметить, что этот диапазон периодов близок к диапазону интервалов между отдельными ливнями.

Заключение

Результаты анализа многолетнего эксперимента по изучению влияния ливневых осадков на радиационный фон приземной атмосферы позволили сделать следующие выводы:

1. Экспериментально доказано, что возрастание величины плотности потока β -излучения коррелирует с текущим значением количества выпавших ливневых осадков.
2. Производная от отфильтрованной плотности потока β -излучения по времени коррелирует с интенсивностью ливневых осадков.
3. Бета-фон является чувствительным индикатором ливневых осадков. Более того, по форме отклика β -фона можно определять начало и конец выпадения ливневых осадков.

Полученные результаты доказывают возможность создания метода количественной оценки характеристик ливневых осадков по данным о плотности потока β -излучения.

Конкурирующие интересы. Авторы заявляют, что конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Все авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

Список литературы/References

- [1] Burnett J.L., Croudace I.W., Warwick, P.E., "Short-lived variations in the background gamma-radiation dose", *Journal of Radiological Protection*, **30** (2010), 525–532.
- [2] 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** (2009), 527–533.
- [3] EURADOS Report, Radiation Protection, 106, 1999, http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/rp106.pdf.
- [4] Barbosa S.M., Miranda P., Azevedo E. B., "Short-term variability of gamma radiation at the ARM Eastern North Atlantic facility (Azores)", *Journal of Environmental Radioactivity*, **172** (2017), 218–231.
- [5] Нагорский П. М., Зенченко Т. А., Пустовалов К. Н., Черепнев М. С., Яковлев Г. А., Яковлева В. С. "Влияние города (техносферы) на вариации электрофизических радиационных величин", *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, 2017, № 4(20), 64–75. [Nagorskiy P. M., Zenchenko T. A., Pustovalov K. N., Cherepnev M. S., Yakovlev G. A., Yakovleva V. S., "The influence of urban area (technosphere) on variations of electrophysical and radiation quantities", *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*, 2017, № 4(20), 64–75].
- [6] Машкович В. П., Кудрявцева А. В., *Защита от ионизирующих излучений*, Справочник. 4-е издание, переработанное и дополненное, Энергоатомиздат, М., 1995, 496 с. [Mashkovich V. P., Kudryavtseva A. V., *Zashchita ot ioniziruyushchikh izlucheni*y, Spravochnik. 4-ye izdaniye, pererabotannoye i dopolnennoye, Energoatomizdat, M., 1995, 496 pp.]

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Burnett J.L., Croudace I.W., Warwick, P.E. Short-lived variations in the background gamma-radiation dose // *Journal of Radiological Protection*. 2010. vol. 30. pp. 525–532.
- [2] 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*. 2009. vol. 100. pp. 527–533
- [3] EURADOS Report, 1999. Radiation Protection 106, URL: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/rp106.pdf
- [4] Barbosa S.M., Miranda P., Azevedo E. B. Short-term variability of gamma radiation at the ARM Eastern North Atlantic facility (Azores) // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017. vol. 172. pp. 218–231.
- [5] Нагорский П. М., Зенченко Т. А., Пустовалов К. Н., Черепнев М. С., Яковлев Г. А., Яковлева В. С. Влияние города (техносферы) на вариации электрофизических радиационных величин // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2017. №4(20). С. 64–75.
- [6] Машкович В. П., Кудрявцева А. В. *Защита от ионизирующих излучений. Справочник. 4-е издание, переработанное и дополненное.* М.: Энергоатомиздат, 1995, 496 с.

MSC 86-05

Research Article

Preliminary results of analysis of variations of the beta background of the surface atmosphere due to cloudburst

V. S. Yakovleva¹, P. M. Nagorskiy², G. A. Yakovlev³, A. S. Zelinskiy, K. N. Pustovalov^{2,3}, S. V. Smirnov², I. V. Belyaeva⁴

¹ Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Lenina avenue, 30, 634050, Russia

² Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3 Akademicheskyy ave., Tomsk, 634055, Russia

³ Tomsk State University, Tomsk, Lenina avenue, 36, 634050 Russia

⁴ Tomsk State University of Architecture and Building, 2 Solyanaya sq., Tomsk, 634003, Russia

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

The results of experimental studies of the influence of the amount and intensity of atmospheric rainfall on the formation of β -background in the surface layer of the atmosphere are presented. Beta-background is shown to be a sensitive indicator of rainfall. It was experimentally established that an increase in the flux density of β -radiation coincides with the periods of rainfall and correlates with the current value of the amount of precipitation. By the shape of the response of the beta background, it is possible to determine the beginning and end of rainfall. The time derivative of the filtered beta radiation flux density correlates with the intensity of rainfall.

Key words: beta radiation, beta background, rainfall, surface atmosphere, dynamics, precipitation intensity.

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-31-2-139-149

Original article submitted: 18.05.2020

Revision submitted: 09.06.2020

For citation. Yakovleva V. S., Nagorskiy P. M., Yakovlev G. A., Zelinskiy A. S., Pustovalov K. N., Smirnov S. V., Belyaeva I. V. Preliminary results of analysis of variations of the beta background of the surface atmosphere due to cloudburst. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2020, **31**: 2, 139-149. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-31-2-139-149

Competing interests. The authors declare that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Yakovleva V. S. et al, 2020

Funding. The study was supported by state budget topic IX.135.1 state registration number AAAA-A17-117013050031-8