

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕРИЛЛИЯ-7 (⁷Be) В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В УСЛОВИЯХ ТРОПИЧЕСКОГО КЛИМАТА

Предложена модель, описывающая изменения концентрации ⁷Be в приземном слое атмосферы г. Майями. В модели используется полином третьего порядка от трех переменных: температуры, сумм атмосферных осадков, количества дней с грозами в месяце. Данная модель позволяет прогнозировать изучаемый процесс на два шага (года).

Ключевые слова: ⁷Be, множественно-регрессионный анализ, метеопараметры.

Введение. Бериллий-7 (⁷Be) – космогенный радиоактивный изотоп. Он образуется в атмосфере в результате взаимодействия протонов и нейтронов космического происхождения с ядрами атомов азота и кислорода. Образование идёт по реакциям: ¹⁴N (n,3p5n) ⁷Be, ¹⁴N (p,4p4n) ⁷Be, ¹⁶O (p,5p5n) ⁷Be. Скорость образования ⁷Be под действием космических лучей изменяется с высотой и широтой и во времени в соответствии с 11 летним солнечным циклом. По некоторым оценкам [1], 70% ⁷Be образуется в стратосфере, а 30% – в тропосфере. Образовавшиеся в стратосфере ⁷Be поступает в тропосферу за счёт турбулентного обмена и при вторжениях стратосферных воздушных масс, которые происходят, в основном, в результате разрыва тропопаузы, в весенние месяцы [2].

В последнее время появились работы, в которых полагается, что в атмосфере могут образовываться тепловые нейтроны и достаточно энергичные протоны некосмического происхождения, которые также могут вступать в реакции с азотом и кислородом. Как показали исследования [3], потоку тепловых нейтронов в тропосфере свойственна пространственная анизотропия. Она проявляется в том, что на высотах вплоть до 10-15 км поток тепловых нейтронов, направленный вниз, существенно меньше, чем поток, уходящий от земной поверхности, источником которого космические лучи быть не могут.

Одним из некосмических источников таких нейтронов могут являться грозы [4]. Эти нейтроны образуются над грозовым облаком при фотоядерных реакциях [5], которые протекают благодаря взаимодействию ядер атомов азота и кислорода с тормозным гамма-излучением потока убегающих электронов [5]. На основе данной идеи [6] предложена теория, связывающая образование при грозах потока нейтронов с возникновением гигантских восходящих атмосферных разрядов (спрайты, джеты и др.[7]), в которых и образуется тормозное излучение релятивистских убегающих электронов.

Одним из источников протонов в атмосфере может служить реакция ядер атомов азота с альфа-частицами, возникающими при радиоактивном распаде изотопов радона ²¹⁹Rn, ²²⁰Rn, ²²²Rn и продуктов их распада.

Радон выделяется в воздушную среду в основном с поверхности суши. С водной и покрытой льдом земной поверхности его эксгаляция практически не происходит. Поэтому на интенсивность образования при описанном процессе ⁷Be в некотором регионе, ощутимо влияет свойственное ему распределение суши, водных объектов и ледников.

Так как интенсивность эксгаляции радона из почвы в теплое время года существенно выше, чем в холодное, поток образующихся при его распаде альфа-

частиц, а значит и ^7Be , положительно коррелирован с ее температурой. Существенно зависит она также от газопроницаемости и адсорбирующей способности, образующих земную поверхность, горных пород. На территориях, где эти породы характеризуются высокой трещиноватостью, эсгалиция радона происходит более интенсивно.

Наиболее высока интенсивность рассматриваемого процесса в зонах тектонических разломов, а также на территориях, где содержащие уран, торий или актиний горные породы залегают вблизи земной поверхности.

В земледельческих районах, где в период вегетации растений, верхний слой почвы разрыхляется их корнями, интенсивность эсгалиции радона может возрастать в 7 и более раз [8].

Значительное количество протонов образуется в воздухе также при фотолизе содержащегося в нем водяного пара, происходящем с участием ультрафиолетовой солнечной радиации [9]. Упомянутые реакции в основном протекают в нижних слоях стратосферы и в верхних слоях тропосферы, где достаточно велико содержание в воздухе водяного пара и не слишком ослаблен поглощаемый в воздушной среде поток солнечного ультрафиолета.

Необходимой для участия в ядерных реакциях с азотом кинетической энергией протоны, образующиеся при фотохимических реакциях в атмосфере и реакциях азота с альфа-частицами, как правило, не обладают. Возможность возникновения в тропосфере при грозах заряженных частиц высоких энергий впервые была рассмотрена ещё в начале 20 века. Для обозначения участвующих в этом процессе электронов, разгоняющихся в электрическом поле грозовых облаков до релятивистских скоростей, был предложен термин «убегающие электроны».

Протоны, так же как и электроны, в мощных электрических полях гроз способны разгоняться до достаточных скоростей. Поскольку длина свободного пробега в воздухе протонов зависит от его плотности и по мере увеличения высоты возрастает, реакции образования ^7Be , протекающие с участием таких протонов, более вероятны в верхних слоях атмосферы. В тропосфере они вероятно возможны в разреженной воздушной среде каналов молний.

Из всех радиоактивных изотопов, содержащихся в атмосфере, ^7Be уделяется наибольшее внимание. Это обусловлено тем, что этот изотоп широко используется в качестве трассера для исследования различных процессов в атмосфере [8]: обмен между тропосферой и стратосферой, оценка сухих выпадений SO_2 из атмосферы на земную поверхность, тестирование трёхмерных атмосферных транспортных моделей.

В приземном слое значения концентраций ^7Be изменяются в пределах $0.1-14 \text{ мБк/м}^3$ и существенно зависят как от географического положения пункта наблюдения, так и от времени [8].

Причинами изменчивости концентрации ^7Be в приземном слое атмосферы являются процессы, вызывающие изменения его вещественного баланса. Факторами его приходной части являются процессы, приводящие к образованию ^7Be , а также его миграции из соседних регионов. Изменения расходной части баланса ^7Be в приземном слое атмосферы обусловлены радиоактивным распадом его атомов, а также «мокрым» и «сухим» осаждением содержащих его частиц аэрозоля, на подстилающую поверхность. Одним из важнейших факторов снижения концентраций ^7Be в приземном слое атмосферы является вымывание содержащих это вещество частиц аэрозоля атмосферными осадками (мокрое осаждение). Средняя интенсивность этого процесса тем выше, чем больше интенсивность осадков и продолжительность их выпадения [10, 11]. Поэтому наиболее существенное влияние на изменчивость концентраций ^7Be в приземном слое оказывают атмосферные осадки в регионах с тропическим влажным и

муссонным климатом, где в летние месяцы интенсивность атмосферных осадков и повторяемость гроз существенно больше чем в зимние.

Из изложенного следует, что к числу наиболее существенных факторов влияющих на изменчивость концентраций ${}^7\text{Be}$ в приземном слое атмосферы относятся: температура, скорость ветра, повторяемость гроз и туманов, дальность видимости, а также интенсивность и продолжительность атмосферных осадков. Поскольку диапазоны изменения указанных характеристик приземного слоя атмосферы существенно зависят от географического положения региона, а также времени года, то влияние их вариаций на изменчивость концентраций ${}^7\text{Be}$ может быть различной. В случаях, когда влияние этих факторов является значительным, игнорирование их при моделировании рассматриваемого процесса способно существенно снижать эффективность и полезность для практики его результатов.

Условия, при которых изменения упомянутых характеристик метеоусловий оказывают существенное влияние на изменчивость концентрации ${}^7\text{Be}$ в том или ином регионе, ныне изучены недостаточно, что осложняет их адекватный учет при его моделировании. Поэтому выявление подобных условий представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Учитывая вышесказанное, объектом исследования являются изменения среднемесячных концентраций ${}^7\text{Be}$ в приземном слое атмосферы, а также характеристик метеоусловий.

Следует отметить, что имеются работы, в которых приведены расчеты концентрации ${}^7\text{Be}$ в приземной атмосфере исследуемого региона с помощью SVD [12] и глобальной химической 3D [13] моделей. Эти модели требуют большого объема данных наблюдений, сложных расчетов и трудно реализуются на практике.

Цель предлагаемой работы – разработка одномерной модели, позволяющей прогнозировать изменения концентрации ${}^7\text{Be}$ в приземной атмосфере.

Данные наблюдений. Для решения поставленной задачи использованы данные наблюдений, полученные в г. Майями, который расположен на полуострове Флорида (США). Это регион с тропическим влажным и муссонным климатом. Здесь, в период с января 1973 по август 1992 гг., осуществлялся мониторинг изменчивости концентраций ${}^7\text{Be}$ в приземном слое атмосферы [14]. В тоже время в Международном аэропорту г. Майями синхронно производились наблюдения за изменениями различных, в том числе упомянутых характеристик метеоусловий, а их результаты в виде соответствующих временных рядов представлены в свободном доступе.

Методика исследования и фактический материал. Межгодовые изменения среднемесячных концентраций ${}^7\text{Be}$ в приземном слое атмосферы рассматривались как реализация некой случайной функции, заданной временным рядом своих наблюдений. Как аргументы этой функции рассматривались соответствующие тому же месяцу межгодовые изменения всех изучаемых характеристик метеоусловий.

Одним из наиболее универсальных методов моделирования случайных функций является метод множественной регрессии (далее МР). При использовании МР моделей необходимо выполнять следующие условия: число наблюдений должно не менее чем в два раза превышать число переменных, выборка должна быть однородна, учитываемые факторы должны быть линейно независимые, случайные ошибки не должны быть автокоррелированные, а также выполняться требование гомоскедастичности.

При моделировании изучаемого процесса целесообразно использовать в общем случае нелинейную функцию, которая с максимальной точностью описывает его связь с соответствующими факторами. В большинстве реальных случаев неполнота априорной информации об этой связи не позволяет вполне обоснованно указать вид этой функции. При этом функционал, описывающий данную модель, задается

эвристически, что снижает точность моделирования. Применение таких «неоптимальных» прогностических моделей на практике допустимо, если обеспечиваемые ими ошибки прогнозирования по модулю фактически достаточно малы. Убедиться в их малости можно лишь идентифицировав такую модель и сравнив даваемые ею прогнозы с соответствующими экспериментальными данными.

В рассматриваемой задаче неполнота априорной информации о связях моделируемого процесса и влияющих на него факторов вынуждает прибегнуть при определении вида соответствующей модели к эвристическому подходу.

При этом весь временной ряд этого процесса разделен на две части. Первая, наиболее продолжительная его часть использована при идентификации соответствующей модели, а вторая – при оценке точности прогноза.

В качестве модели моделируемого процесса выбрана полиномиальная функция трех переменных третьего порядка. Поскольку количество неизвестных коэффициентов этой функции гораздо больше, чем длина имеющихся временных рядов, среди его членов была осуществлена предварительная селекция. В ходе ее отобраны 9 членов упомянутого полинома, которые являются наиболее коррелированными с предысторией моделируемого процесса. Их сумма определила конкретный вид его модели.

Для установленного таким образом функционала модели по предыстории изучаемого процесса определены значения среднеквадратических ошибок (СКО) его моделирования и экстраполяции с тем или иным упреждением. Также с ее помощью получены прогнозы с упреждением 1 и 2 года, которые сопоставлены с соответствующими членами рассматриваемого ряда, не учитывавшимися при идентификации его модели.

В рассматриваемой задаче подобный подход к селекции факторов МР модели изучаемого процесса представляется правомочным, поскольку происходящие в современный период изменения климата, как правило, является однонаправленным. Они проявляются в том, что во многих регионах, в том числе и в г. Майями, преобладают тенденции к повышению среднемесячных температур приземного слоя атмосферы, и интенсивности испарения влаги с поверхности Мирового океана (приводящее к увеличению повторяемости гроз и интенсивности атмосферных осадков). Это позволяет предполагать, что значимость упомянутых факторов изменчивости концентраций ${}^7\text{Be}$ в приземном слое атмосферы над г. Майями при дальнейшем потеплении климата возрастает. Следовательно, установление значимости некоторого фактора в прошлом, свидетельствует о наличии высокой вероятности его значимости и в будущем.

Поскольку мониторинг изменчивости концентраций ${}^7\text{Be}$ в приземном слое атмосферы над производился с 1973 по 1992 г., каждый из полученных при этом временных рядов среднемесячных значений данного процесса содержит по 20 членов. Части каждого из них, соответствующие периоду 1973-1991 г., использованы для идентификации МР моделей, а по данным за 1992 г. произведена оценка соответствия между результатом экстраполяции и его фактическим значением.

Каждый фрагмент ряда изучаемого процесса, используемый для идентификации, содержит по 19 членов, для обеспечения статистической устойчивости результатов идентификации при селекции членов его уравнения регрессии для каждого месяца отбиралось 9 наиболее коррелированных с ним. Эти члены рассматривались как факторы 9-мерного линейного уравнения регрессии изучаемого процесса заданного временным рядом наблюдений – $y[j]$ ($j = 1, 2, \dots, M$), описываемой соотношением

$$Y[j] = c_0 + \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i[j], \quad (1)$$

где $Y[j]$ – временной ряд результатов математического моделирования $y[j]$; $x_i[j]$ – временные ряды отобранных факторов, рассматриваемых как аргументы модели, содержащие по M членов; $M > N+1$; c_i ($i=0, 1, \dots, N$) – неизвестные действительные константы, выбираемые так, чтобы минимизировать P , определяемое соотношением

$$P = \sum_{j=1}^M (Y[j] - y[j])^2. \quad (2)$$

Значения c_i определены с помощью метода наименьших квадратов, согласно которому

$$C = A^{-1} \cdot B, \quad (3)$$

где C – $N+1$ мерный вектор, компонентами которого являются константы c_i ;

$$B = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^M y_i \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,1} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,N} \end{array} \right\} \text{ – } N+1 \text{ мерный вектор; } A^{-1} \text{ – матрица),}$$

обратная по отношению к A .

$$A = \left\{ \begin{array}{cccc} M & \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,1} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,1} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^M x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,N} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,N} \end{array} \right\} \text{ – квадратная матрица.}$$

Необходимым условием существования решения уравнения (3) является: $\text{rang}(A) = N+1$, что имеет место, если среди аргументов $x_i[j]$ модели (1) отсутствуют связанные между собой функционально. Для исключения подобных случаев отобранные в ходе селекции факторы рассматриваемого процесса проверялись на наличие между ними функциональной связи (при существовании которой коэффициент их парной корреляции по модулю равен 1).

Качество идентифицированной модели оценивалось путем расчета коэффициента парной корреляции предыстории рассматриваемого процесса и результата его

моделирования. Качество признавалось удовлетворительным, если значение этого коэффициента превышало уровень 99% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента. Значение указанного порога оценивалось с учетом числа степеней свободы сопоставляемых временных рядов.

Как уже отмечалось выше, возможность использования идентифицированных таким образом моделей (1) при экстраполяции изменений в том или ином месяце концентраций ^7Be в приземном слое атмосферы оценивалась по величине ошибки экстраполяции, рассчитанной для наблюдений 1992 г.. Полагалось, что модель пригодна для экстраполяции данных, соответствующего месяца, если модуль этой ошибки не превышает среднеквадратического отклонения ошибки (СКО) ее моделирования, рассчитанной за период 1973-1991 гг.

Результаты моделирования и их анализ. В соответствии с предлагаемой методикой для каждого месяца произведена селекция членов нелинейного уравнения множественной регрессии межгодовых изменений средних значений концентраций ^7Be в приземном слое атмосферы.

Для каждого месяца выявлены девять наиболее значимых членов уравнения регрессии изучаемого процесса, рассматриваемых как его факторы, осуществлена идентификация модели (1) и оценено ее качество.

Функционалы, определяющие соотношение между выявленными членами уравнения регрессии, а также рассматриваемыми характеристиками метеоусловий для месяцев в которые качество идентифицированных моделей признано удовлетворительным, приведены в табл.1.

В табл. 1 z_1 – значение повторяемости гроз; z_2 – месячная сумма атмосферных осадков; z_3 – среднемесячная температура приземного слоя атмосферы.

Как видно из табл. 1, качество математических моделей изменчивости концентрации ^7Be является удовлетворительным лишь в зимние (январь-февраль) и летние (июнь-июль) месяцы.

Для метеоусловий в зимние месяцы в исследуемом регионе характерно практически полное отсутствие гроз и малая интенсивность атмосферных осадков. Вероятно поэтому изменения большинства выявленных факторов межгодовых колебаний концентрации ^7Be в приземном слое атмосферы в эти месяцы определяются вариациями среднемесячных температур воздуха – z_3 .

Таблица 1 – Наиболее значимые члены уравнения регрессии межгодовых изменений среднемесячных значений концентраций ^7Be в приземном слое атмосферы над г. Майями, описывающего их связи с вариациями характеристик метеоусловий

Фактор	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
Январь	z_3	z_1z_3	z_3z_3	$z_3z_3z_3$	$z_1z_3z_3$	$z_1z_3z_2$	z_1z_1	z_1z_2	$z_1z_1z_3$
Февраль	z_3	z_3z_3	$z_3z_3z_3$	$z_1z_3z_3$	$z_3z_3z_2$	$z_1z_1z_3$	z_1z_1	z_1z_3	z_1
Июнь	z_1z_2	$z_1z_2z_3$	$z_1z_2z_2$	$z_1z_1z_2$	z_2	z_2z_2	z_2z_3	$z_3z_3z_2$	$z_2z_2z_3$
Июль	z_1	z_1z_1	z_1z_3	$z_1z_1z_1$	$z_1z_1z_3$	$z_1z_3z_3$	$z_1z_1z_2$	z_1z_2	$z_1z_2z_3$

Летним месяцам на юге полуострова Флорида соответствуют годовые максимумы интенсивности атмосферных осадков и повторяемости гроз, вследствие чего, по-видимому, межгодовые вариации именно этих характеристик (z_1z_2) формируют изменчивость большинства факторов рассматриваемого процесса в июне и июле.

Установлено, что изменения, иных исследуемых метеорологических условий к числу значимых факторов не относятся.

Коэффициенты и рассматриваемые характеристики качества МР моделей, описывающих изменения концентрации ^7Be в приземном слое атмосферы в зимние и летние месяцы, рассчитанные с использованием изложенной методики, приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Коэффициенты и характеристики МР моделей (1) изменений концентрации ^7Be в приземном слое атмосферы над г. Майями в зимние и летние месяцы

Коэффициент	Январь	февраль	Июнь	июль
C_0	-172.244	-101.698	5.522	5.665
C_1	27.721	15.473	-0.039	27.065
C_2	0.082	-0.705	0.001	-0.080
C_3	-1.412	0.010	-4.2E-06	-1.850
C_4	0.0236	-0.002	0.0002	-0.001
C_5	-0.004	-1.9E-05	-0.462	0.004
C_6	-0.002	0.029	-0.0003	0.031
C_7	-0.907	-0.532	0.050	-7.2E-05
C_8	0.0347	0.119	-0.001	-0.009
C_9	0.027	-2.072	1.5E-05	0.0003
Коэффициент корреляции	0.747	0.752	0.871	0.606
СКО моделирования	0.721	0.804	0.427	0.623
Ошибка экстр	-1.214	-2.633	0.150	-0.021

Как видно из табл. 2, идентифицированные модели межгодовых изменений концентраций ^7Be в приземном слое атмосферы, соответствующие зимним месяцам характеризуются высокой точностью моделирования, но значительными ошибками экстраполяции, существенно превосходящими уровень СКО моделирования. В тоже время модели, соответствующие летним месяцам, для решения задач экстраполяции вполне пригодны (уровни обеспечиваемых ими ошибок экстраполяции с упреждением 1 год существенно меньше СКО моделирования).

Зависимости от времени фактических изменений концентраций ^7Be в приземном слое атмосферы над г. Майями, соответствующие летним месяцам, а также результатов их моделирования и экстраполяции с упреждением 1 год приведены на рис. 1. и рис. 2.

Из рис. 1 и 2 следует, что и в июне и июле результаты моделирования рассматриваемых процессов удовлетворительно соответствуют фактическим изменениям их состояний в период с 1973 по 1991 гг. Временные положения большинства экстремумов соответствующих фактических и модельных зависимостей практически совпадают между собой, хотя их абсолютные величины несколько различаются. Обеспечиваемые идентифицированными моделями уровни ошибок экстраполяции существенно меньше СКО моделирования.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наиболее значимыми факторами межгодовых изменений в зимние и летние месяцы концентраций ^7Be являются межгодовые вариации среднемесячных температур, повторяемости гроз, а также месячных сумм атмосферных осадков. При этом эффективным использование данных факторов при экстраполяции рассматриваемого процесса является лишь в июне и июле, в условиях, когда амплитуда их межгодовой изменчивости являлась максимальной.

Вопрос о влиянии на точность экстраполяции с использованием идентифицированных моделей фактора упреждения, актуальный в задачах прогнозирования изучаемого процесса, нуждается в дополнительном исследовании.



Рис.1 – Фактические изменения концентраций ^7Be в приземном слое атмосферы над г. Майями в июне, а также результат их моделирования и экстраполяции.



Рис.2 – Фактические изменения концентраций ^7Be в приземном слое атмосферы над г. Майями в июле, а также результат их моделирования и экстраполяции.

Выводы. Разработана модель, описывающая изменения концентрации ^7Be в приземном слое атмосферы г. Майями, в которой используется полином третьего порядка от трех переменных: температуры, сумм атмосферных осадков, количества дней с грозами в месяце. Данная модель позволяет осуществлять прогнозирование изучаемого процесса с упреждением на два шага (года).

Список литературы

1. *Papastefanou C.* Radioisotopes in oceanographic research. – Amsterdam: Elsevier, 2008. – 171 p.
2. *Шакина Н.П., Кузнецова И.Н., Иванова А.Р.* Анализ случаев атмосферных вторжений, сопровождаемых повышением радиоактивности в приземном воздухе // Метеорология и гидрология. – 2000. – №2. – С.53-59.
3. *Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю., Шаврин П.И.* Анизотропия тепловых нейтронов в атмосфере // Геомагнетизм и аэрономия. – 1995. – Т. 32, № 2. - С.166-170.
4. *Кужевский Б.М.* Генерация нейтронов в молниях // Вестн. МГУ. – 2004. – Сер. 3. Физика, Астрономия, № 5. – С.14–16.
5. *Гуревич А.В., Зыбин К.П.* Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // УФН. – 2001. - Т. 171. – С.1177–1199.
6. *Бабич Л.П., Донской Е.Н., Куцык И.М., Рюсель-Дюпре Р.А.* Тормозное излучение лавины релятивистских убегающих электронов в атмосфере. // Геомагнетизм и аэрономия. – 2004. - Т. 44, № 5. – С.697–703.
7. *Бекряев В.И.* Молнии, спрайты и джеты. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 96 с.
8. *Батраков Г.Ф.* Радиоактивные изотопы в атмосфере и океане. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. – 378 с.
9. *Okabe H.* Photochemistry of small moleculesю - New York – Chichester-Brisbane-Toronto: A Willey-interscience publication-John Wiley & sons, 1978. – 290 p.
10. *Холопцев А.В., Бойченко В.Н.* Средняя концентрация пассивной примеси в атмосферных осадках, как фактор динамики загрязнения поверхностного слоя водного объекта // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. - №1(17) Севастополь, 2006. – С.100-104.
11. *Чайкина А. Н., Холопцев А.В.* О факторах динамики загрязнения атмосферных осадков микроэлементами (на примере изменчивости концентраций соединений азота в атмосферных осадках, выпадавших в летний период 2004 г. в районе пос. Качивели) // Сборник «Экологич. Безопасность прибрежной и шельфовой зон». Севастополь. – МГИ НАНУ. – Севастополь, 2005. – С.287-295.
12. *Koch M. and Mann E.* Spatial and temporal variability of ^7Be surface concentrations // Tellus. – 1996. – 48B. – P.387-396.
13. *Liu. H., Jacob D., Bey. I. and Yantosca M.* Constraints from ^{210}Pb and ^7Be on wet deposition and transport in a global three-dimensional chemical tracer model driven by assimilated meteorological fields // J. Geophysical research. – 2001. – Vol. 106, No. D11. – P.12109-12128.
14. EML. Surface air sampling program database [Электронный ресурс] // URL: <http://www.eml.st.dhs.gov/databases/SASP>.

Міжрічна мінливість концентрації берилію-7 (^7Be) в приземному шарі атмосфери в умовах тропічного клімату. Батраков Г.Ф., Кременчуцький Д.О., Холопцев О. В.

Запропоновано модель, що описує зміни концентрації ^7Be в приземному шарі атмосфери м. Майямі. У моделі використовується поліном третього порядку від трьох змінних: температури, сум атмосферних опадів, кількості днів з грозами в місяці. Дана модель дозволяє прогнозувати досліджуваний процес на два кроки (року).

Ключові слова: ^7Be , множинно-регресійний аналіз, метеопараметри.

Interannual variability in the concentration of beryllium-7 (^7Be) in the surface layer of the atmosphere in a tropical climate. Batrakov G. Kremenchutsky D. Holoptsev A.

Model describing the changes of concentrations of ^7Be in the surface layer in the region of Miami was offered. The model uses the third-order polynomial on the three variables: temperature, amount of precipitation, number of days with thunderstorms in the month. This model allows to predict the process under study in two steps (years).

Keywords: ^7Be , multiple-regression analysis, meteorological parameters.