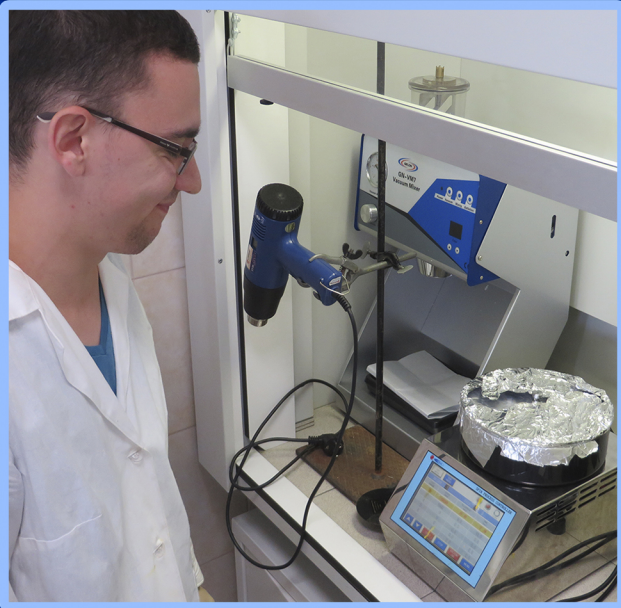
ISSN 1818-0744

ВЕСТНИК

Международного университета природы, общества и человека «ДУБНА»



ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ НАУКИ

№ 1 (37), 2017

Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна»

Серия «Естественные и инженерные науки»

№ 1 (37), 2017

Выходит с ноября 1996 года

Редакционный совет:

Фурсаев Д. В. (*председатель*)
Багдасарьян Н. Г.
Венгер А. Л.
Капаччиоли М. (Италия)
Кореньков В. В.
Клейнер Г. Б.
Красавин Е. А.
Крюков Ю. А.
Кузнецов О. Л.
Малахов А. И.
Михайлова Н. В.
Оганесян Ю. Ц.
Островский М. А.
Сахаров Ю. С.
Черемисина Е. Н.
Черепанова В. Г.

Редакционная коллегия:

Деникин А. С. (*гл. редактор*)
Савватеева О. А. (*зам. гл. редактора, отв. секретарь*)
Полотнянко Н. А. (*техн. секретарь*)
Анисимова О. В.
Борейко А. В.
Гладышев П. П.
Каляшин С. В.
Карпов А. В.
Колганова Е. А.
Немченок И. Б.
Сокотущенко В. Н.

В номере:

Дабылова С.Б., Копач Ю.Н., Зонтиков А.О., Грозданов Д.Н., Федоров Н.А.
Определение функции отклика детектора NaI для γ-квантов с энергией 4,43 МэВ, образующихся при неупругом рассеянии нейтронов с энергией 14,1 МэВ на ядрах углерода……. 3

Керейбай Д., Лычагин Е.В.
Оптимизация геометрии счётчиков тепловых нейтронов для эксперимента по измерению времени жизни нейтрона методом хранения ультрахолодных нейтронов в ловушке……... 12

Кивва К.В.
Оценка градостроительных «риск-факторов» как основа модернизации жизненной среды……. 20

Маматова М.Б., Миронов В.Е., Богомолов С.Л.
Моделирование потоков газов в ЭЦР-источниках ионов……. 26

Сорокина Е.А., Локощенко М.А.
Поверхностный «остров тепла» в Москве по данным спутников…….. 32

Турлыбекулы К., Лычагин Е.В
Измерение вероятности малого нагрева ультрахолодных нейтронов и фактора потерь на безводородном масле Fomblin™ с различным средним молекулярным весом…….. 39

Фадейкина И.Н., Ламакина О.С., Грибова Е.Д.
Термическая устойчивость полианилина, полученного химическим и электрохимическим способами…… 48

Хромов А.А., Хромушин О.В., Любимова К.А.
Редкие охраняемые виды птиц городского округа Дубна и окрестностей в XXI веке…….. 53

ISSN 1818-0744

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-25824 от 28 сентября 2006 г.

© Государственный университет, «Дубна», 2017

Все рукописи рецензируются

Корректор
Цепилова Ю.С.

Макет и верстка номера
Цепилова Ю.С.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов

Адрес редакции
141982, г. Дубна Моск. обл., ул. Университетская, 19
Тел.: (+7 49621)6-60-89, 1355
E-mail: izdat@uni-dubna.ru

Подписано в печать 26.05.2017.
Формат 60×90/8.
Усл. печ. л. 8,5.
Тираж 150 экз. Заказ № 22.

Отпечатано в общем отделе университета «Дубна»
141980, г. Дубна Моск. обл., ул. Университетская, 19

Bulletin of Dubna International University for Nature, Society, and Man

Seria "Natural and engineering sciences"

No. 1 (37), 2017

Published since November 1996

Editorial council:

Fursaev D. V. (*Chairman*)
Bagdasarjan N. G.
Capaccioli M.
Cheremisina Eu. N.
Cherepanova V. G.
Kleiner G. B.
Korenkov V. V.
Krasavin Eu. A.
Kryukov Y. A.
Kuznetsov O. L.
Malakhov A. I.
Mikhailova N. V.
Oganessian Yu. T.
Ostrovsky M. A.
Sakharov Yu. S.
Venger A. L.

Editorial board:

Denikin A. S. (*Chief Editor*)
Savvateeva O. A. (*Deputy Chief Editor, Executive Secretary*)
Polotnyanko N. A. (*Technical Editor)*
Anisimova O. V.
Boreyko A. V.
Gladyshev P.P.
Kalyashin S. V.
Karpov A. V.
Kolganova E. A.
Nemchenok I. B.
Sokotushchenko V. N.

In the issue:

Dabylova S.B., Kopatch Yu.N., Zontikov A.O., Grozdanov D.N., Fedorov N.A.
Determination of detector response function for 4,43MeV γ-quanta in reaction of inelastic neutron scattering on carbon…….. 3

Kereibay D.A., Lychagin E.V.
Optimization of the configuration of thermal neutron counters by the method of ultracold neutron storage in a trap……. 12

Kivva K.V.
Assessment of town-planning "risk-factors" as a basis formodernization of social-ecological environment……... 20

Mamatova M.B., Mironov V.E., Bogomolov S.L.
Modeling of gas flows in the ECR ion sources……. 26

Sorokina E.A., Lokoshchenko M.A.
Surface urban "Heat island" in Moscow according satellite data……. 32

Turlybekuly K., Lychagin E.V.
The study of "small up-scattering" of ultracold neutrons and losses factor on a surface of hydrogen free oil Fomblin with different average molecular weight…… 39

Fadeykina I. N., Lamakina O. S., Gribova E.D.
Thermal stability of polyaniline synthesized by chemical and electrochemical methods…… 48

Khromov A.A., Khromushin O.V., Lyubimova K.A.
Rare protected species of birds of the urban district of Dubna and its environs in the XXI century……. 53

ISSN 1818-0744

Certificate of Registration
No. ПИ № ФС77-25824
of 28 September 2006

© Dubna State University, 2017

All manuscripts are reviewed

Proof-reader
Tcepilova J. S.

Issue make-up
Tcepilova J. S.

The opinion of publishing author not always coincides with the editorial opinion

Editorial board address:
19 Universitetskaya St., 141982 Dubna,
Moscow Region, Russia
Phone: (+7 49621)6-60-89, 1355
E-mail: izdat@uni-dubna.ru

Passed for printing
on 26.05.2017
150 copies

УДК 539.122.04 539.1.07

С. Б. Дабылова, Ю. Н. Копач, А. О. Зонтиков, Д. Н. Грозданов, Н. А. Федоров

Определение функции отклика детектора NaI для γ-квантов с энергией 4,43 МэВ, образующихся при неупругом рассеянии нейтронов с энергией 14,1 МЭВ на ядрах углерода

Работа посвящена определению функции отклика детектора NaI(Tl) для γ-квантов с энергией 4,43 МэВ, образующихся при неупругом рассеянии нейтронов с энергией 14,1 МэВ на ядрах ^{12}C. В гамма-спектрометрии регистрируются выходные импульсы, амплитуды которых пропорциональны энергии, потерянной в детектирующей среде падающими фотонами. Одной из основных задач детектирования излучений является восстановление характеристик излучения по сигналам, измеренным на выходах детекторов. Для этого необходимо знать, прежде всего, общие характеристики детекторов как преобразователей излучения в сигналы. Основная характеристика детектора – это его функция отклика, которую можно определить как вероятность того, что частица с заданными свойствами генерирует в детекторе определенный сигнал, который будет зарегистрирован прибором. В статье представлены результаты моделирования функции отклика сцинтилляционного детектора на основе кристалла NaI(Tl) для гамма-излучения из неупругого рассеяния быстрых нейтронов с целью изучения механизма ее формирования.

Ключевые слова: функция отклика, γ-кванты, сцинтилляционные детекторы.

Об авторах

Дабылова Салтанат Болаткызы – магистрант кафедры ядерной физики Государственного университета «Дубна». *E-mail: dabylova_saltanat@mail.ru.* Московская обл., г. Дубна, ул. Ленинградская, 10, кв. 308.

Копач Юрий Николаевич – кандидат физико-математических наук, начальник сектора Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований.

Зонтиков Артем Олегович – инженер Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований.

Грозданов Дмитър Николов – младший научный сотрудник Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований; младший научный сотрудник Института ядерных исследований и ядерной энергетики (ИЯИЯЭ) Болгарской академии наук (БАН), г. София, Болгария.

Федоров Никита Александрович – инженер Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований; магистрант кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ.

Сведения о функции отклика детектора и возможность ее расчета необходимы для понимания процессов формирования аналитического сигнала и фона. Они важны для расшифровки энергетических спектров, а также для выбора оптимальных условий регистрации.

Функция отклика детектора характеризует вероятность передачи чувствительному объему детектора энергии E при попадании в него γ-кванта с энергией $E\gamma$. Определение функции отклика детектора в широком диапазоне энергий гамма-излучения необходимо для правильной расшифровки экспериментальных данных и при расчете характеристик разрабатываемых приборов для регистрации ядерных излучений [2; 8]. Экспериментальное получение функции отклика требует значительного количества источников моноэнергетического гамма-излучения и занимает продолжительное время. Поэтому в последние годы для расчета функции отклика детекторов широкое распространение получил метод Монте-Карло [1–4; 7].

В настоящей работе расчеты функции отклика также выполнены методом Монте-Карло,

© Дабылова С. Б., Копач Ю. Н., Зонтиков А. О., Грозданов Д. Н., Федоров Н. А., 2017

который позволяет учесть как возможность многократных взаимодействий фотонов с веществом, так и геометрические особенности детектора.

Определение функции отклика детектора

В нашем случае для анализа данных по угловым корреляциям γ-квантов в реакции $^{12}C(n,n')^{12}C^{*} \xrightarrow{\gamma} {}^{12}C$ достаточно определить функцию отклика детектора для одной гамма-линии – 4438 МэВ, т.к. гамма-спектр углерода, образующийся в этой реакции, состоит из этой единственной линии, соответствующей первому возбужденному состоянию ^{12}C [1].

В детекторах энергии и интенсивности γ-квантов определяются не непосредственно, а с помощью вторичных заряженных частиц (электронов и позитронов), которые возникают в результате взаимодействия детектируемых гамма-квантов с веществом детектора. Когда γ-квант попадает в детектор, заряженные частицы образуются в результате трех процессов: фотоэффекта, эффекта Комптона и образования электрон-позитронных пар.

Для определения функции отклика детектора был смоделирован энергетический спектр, зарегистрированный детектором NaI(Tl) при попадании в него γ-кванта с энергией 4,43 МэВ. Моделирование проводилось методом Монте-Карло с использованием программного пакета GEANT4 [5].

В процессе моделирования были выделены семь основных компонент функции отклика, которые имеют различные формы энергетической зависимости и которые были описаны соответствующими математическими функциями:

1) пик полного поглощения – соответствует полной передаче энергии налетающего гамма-кванта детектору вследствие фотоэффекта или многократных процессов;

2) пик одиночной утечки – полное поглощение, за исключением одиночного аннигиляционного фотона (511 кэВ);

3) пик двойной утечки – полное поглощение, за исключением двух аннигиляционных фотонов (1022 кэВ);

4) континуум от однократного комптоновского рассеяния;

5) континуум от многократного комптоновского рассеяния;

6) континуум от комптоновской утечки одного или двух аннигиляционных фотонов.

Следует заметить, что возможности кода GEANT4 позволяют выделить каждую из этих компонент программным образом, в отличие от эксперимента, в котором можно наблюдать только полный энергетический отклик детектора.

На рис. 1 показана расчетная функция отклика и ее разложение на вышеуказанные компоненты.

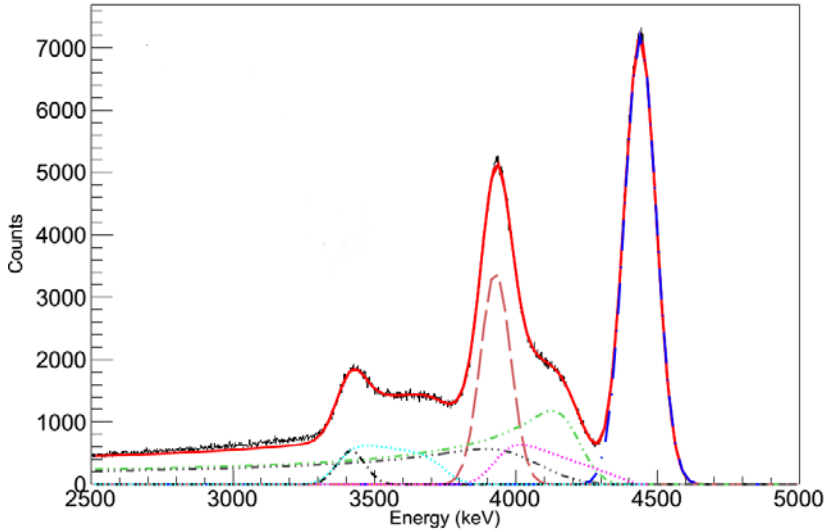


Рис. 1. Модельная функция отклика и ее компоненты

В этой гистограмме длинной штрихпунктирной тонкой линий (темно-синий) описан пик полного поглощения, штриховой (бордовый) – это одиночный вылет, короткий штрихпунктирный (черный) – двойной вылет, штрихпунктирная линия с двумя точками (зеленый) – однократный континуум Комптона, штрихпунктирная линия с тремя точками (серый) – многократный континуум Комптона, пунктирные линии (ярко-синий и розовый) – комптоновские компоненты, сопровождающие однократный и двойной пики утечки.

Функция отклика, описывающая взаимодействие фотона с энергией $E\gamma$, определяется как

$$R(E, E\gamma) = \sum_{i=1}^{7} f_i(E, E_\gamma), \qquad (1)$$

где E – энергия, зарегистрированная в детекторе. Предполагается, что энергетическая калибровка детектора проведена соответствующим образом и энергии налетающего гамма-кванта, а также зарегистрированных вторичных частиц в детекторе измеряются в одних и тех же единицах (кэВ). Семь частей, f_i, функции отклика детектора, которые зависят от энергии фотона, а также их параметры и методы подгонки описаны в деталях ниже.

Пик полного поглощения

Первая часть гистограммы (рис. 2) – это пик полного поглощения. Подгонка этой гистограммы проводилась функцией Гаусса, которая имеет следующий вид

$$f(x) = \frac{A}{\left(\sqrt{2\pi} \cdot B_1\right)} \exp\left(\frac{-(E - E_0)^2}{2 \cdot B_1^2}\right), \qquad (2)$$

где A – площадь под пиком; $B_1 = \sigma$ – дисперсия функции (определяет ширину пика); E_0 – энергия, равная 4438 кэВ (положение пика).

Результат подгонки этой компоненты показан на рис. 2.

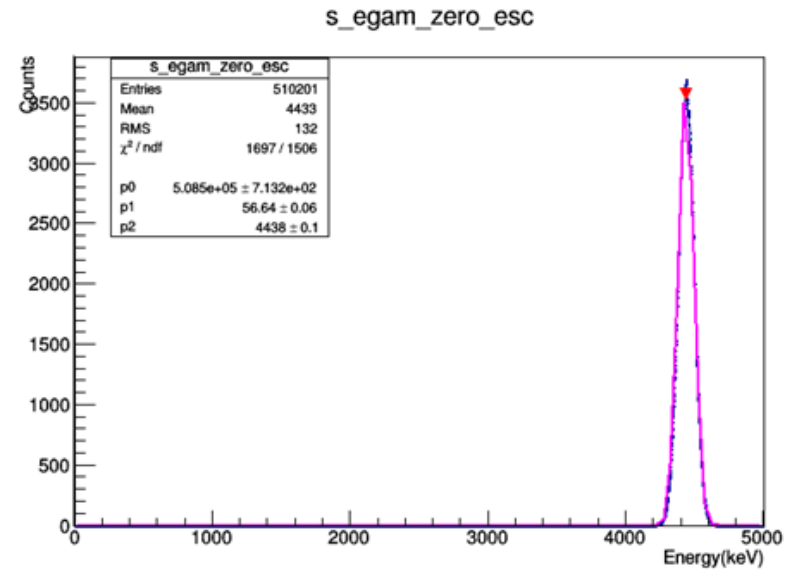


Рис. 2. Пик полного поглощения

Полное поглощение фотона представлено распределением Гаусса с амплитудой A(p0), дисперсией σ(p1) и центроидой E_0(p2).

При энергии γ-кванта выше 1022 кэВ в детектирующем объеме возможно образование пар электрон-позитрон. При этом вся энергия γ-кванта передается электрону и позитрону. Если и электрон, и позитрон поглотятся в веществе детектора, то суммарный импульс будет пропорционален энергии γ-кванта и событие будет зафиксировано в пике полного поглощения. Однако при аннигиляции позитрона образуются

два γ-кванта, каждый с энергией 511 кэВ, которые могут покинуть детектор.

Пик одиночного вылета

Если один из этих аннигиляционных γ-квантов, не вступив во взаимодействие, вылетит из детектора, то суммарная поглощенная энергия в детекторе будет равна E_0 – 511 кэВ. Такие события будут вносить вклад в так называемый пик одиночного вылета. И результат подгонки этого пика показан на рис. 3.

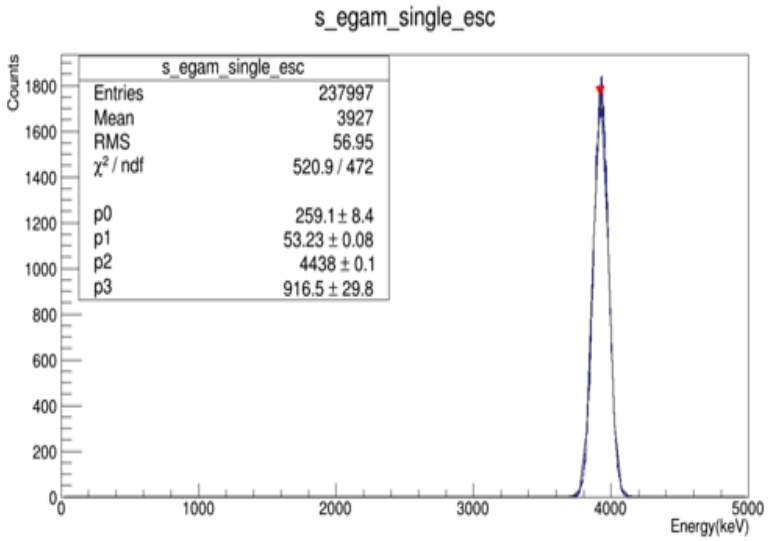


Рис. 3. Пик одиночного вылета

Подгонка этой гистограммы проводилась функцией Гаусса:

$$f(x)=\frac{A\cdot R_0}{\left(\sqrt{2\pi}\cdot B_2\right)}\exp\left(\frac{-\left(E-\left(E_0-511\right)^2\right)}{2\cdot B_2^2}\right), \quad (3)$$

$$B_2=\sigma\left(\frac{\sqrt{E_0}}{\sqrt{E_0-511}}\right), \quad (4)$$

где A(p0) – площадь под пиком; R_O(p3) – параметр, определяющий отношение амплитуд фотопика и одиночного вылета; E_0 (p2) – энергия, равная 4438 кэВ. Здесь следует заметить, что для этой функции свободным параметром является только площадь пика, в то время как его ширина (дисперсия) и положение связаны с шириной и положением пика полного поглощения соотношениями (3) и (4).

Пик двойного вылета

Если из детектора вылетят оба аннигиляционных γ-кванта, то это событие будет зафиксировано в пике двойного вылета (E_0 – 1022 кэВ). Этот пик показан на рис. 4. Пик двойного вылета описывается также функцией Гаусса:

$$f(x)=\frac{A}{\left(\sqrt{2\pi}\cdot B_3\right)}\exp\left(\frac{-\left(E-\left(E_0-1022\right)^2\right)}{2\cdot B_3^2}\right), \quad (5)$$

$$B_3=\sigma\left(\frac{\sqrt{E_0}}{\sqrt{E_0-1022}}\right). \quad (6)$$

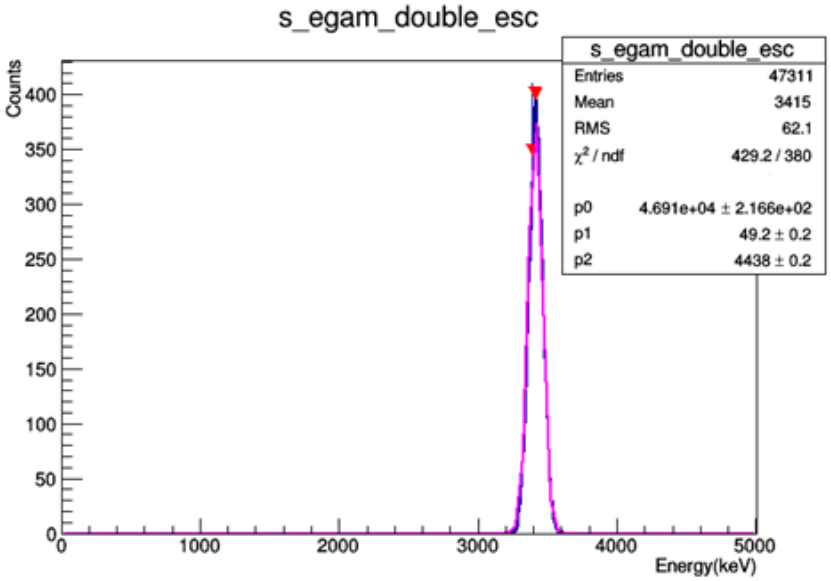


Рис. 4. Пик двойного вылета

Здесь также свободным параметром является только площадь пика, в то время как его ширина (дисперсия) и положение связаны с шириной и положением пика полного поглощения соотношениями (5) и (6).

Комптоновский континуум от однократного комптоновского рассеяния

Комптоновское рассеяние является главной причиной излучения от детектора и его труднее всего исключить, т.к. оно наблюдается при любых энергиях квантов, и его распределение очень чувствительно к геометрии источника, экрана и детектора.

Однократное комптоновское рассеяние фотонов обычно описывается формулой Клейна – Нишины. В экспериментальных данных необходимо также учитывать уширение правого края комптоновского спектра в соответствии с энергетическим разрешением детектора. Форма комптоновского континуума описывается формулой Клейна – Нишины, умноженной на дополнительную функции ошибок, задающую уширение спектра от комптоновской границы E_c из-за конечного разрешения детектора.

Полная формула для описания комптоновского континуума выглядят так:

$$f(x)=A\left[\left(\frac{E_0}{E_1}\right)+\left(\frac{E_1}{E_0}\right)-1+\cos^2\theta\right]erfc\times \times\left[\frac{(E-C_0)}{\sqrt{2}\cdot B_4}\right], \qquad (7)$$

где $\cos\theta=1+\left(\frac{m_0\cdot c^2}{E_0}\right)+\left(\frac{m_0\cdot c^2}{E_1}\right)$,

$E_1=E_0-E$, $B_4=\sigma\cdot\frac{\sqrt{E_0}}{\sqrt{C_0}}$,

$C_0=E_c=\frac{E_0}{\left[1+\frac{m_0\cdot c^2}{2\cdot E_0}\right]}$ – это энергия комптоновского края и $m_0\cdot c^2$ – это энергия покоя электрона. В этой формуле свободным параметром является только амплитуда A.

Результат подгонки спектра однократного комптоновского рассеяния с помощью функции (7) показан на рис. 5.

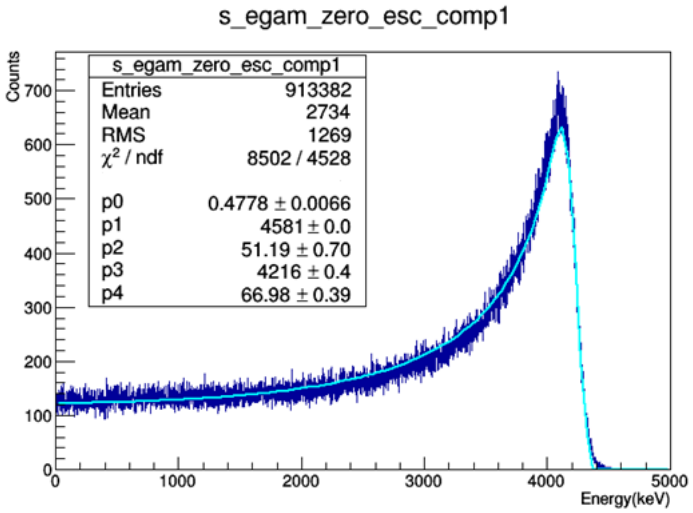


Рис. 5. Однократный континуум Комптона

В формуле (7) $A(p_0 \cdot p_2)$ – это относительная амплитуда и σ(p4) – дисперсия в функции ошибок.

Комптоновский континуум от многократного комптоновского рассеяния

Весь комптоновский континуум не может быть описан одной сравнительно простой формулой Клейна – Нишины, которая корректно отражает только однократное комптоновское рассеяние. Поэтому полный комптоновский спектр был разделен на несколько компонент, каждая из которых имеет свой смысл. Пятая часть гистограммы (рис. 6) – это комптоновский континуум от многократного комптоновского рассеяния, а также от утечек электронов, позитронов, т.е. все, что не описывается компонентами 4 и 6. Для описания этой компоненты может быть использована также формула (7) с тремя свободными параметрами: амплитуда A, дисперсия σ и положение правого края спектра C_0. Результат подгонки показан на рис. 6. Так как эта компонента, условно обозначенная как комптоновский континуум от многократного комптоновского рассеяния, составлена из нескольких компонент, имеющих различную физическую природу, ее описание с помощью формулы (7) неидеально. Тем не менее, мы считаем, что точность описания этой компоненты достаточна для практических применений, т.к. ее вклад в полный спектр функции отклика незначителен.

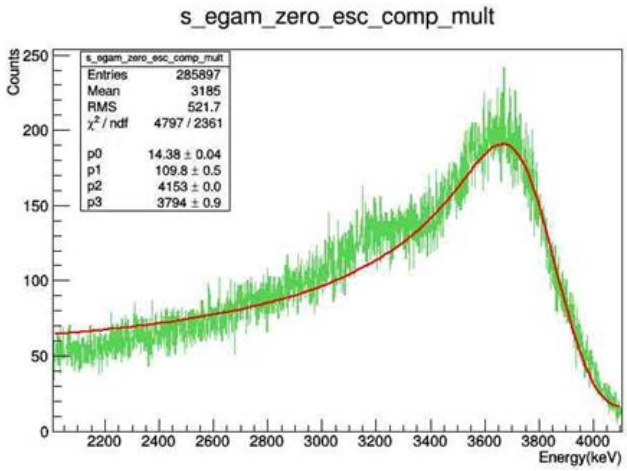


Рис. 6. Континуум Комптона для аннигиляционного фотона

Комптоновский континуум от аннигиляционных фотонов

Шестая и седьмая части являются важными компонентами функции отклика. Эти компоненты видны на рис. 1 в виде бугорков справа от пиков одиночного и двойного вылета. Физический смысл этих компонент – это неполная утечка аннигиляционных γ-квантов, т.е. один или оба фотона с энергией 511 кэВ испытывают комптоновское рассеяние, оставляют часть энергии в детекторе, а часть уносят за пределы детектора. Так как уносимая часть энергии меньше, чем 511 и 1022 кэВ соответственно, то поглощенная энергия в детекторе больше, чем E_0 – 511 и E_0 – 1022, поэтому эти компоненты находятся справа от соответствующих пиков утечки.

Эти гистограммы (рис. 7 и 8) были описаны следующей функцией:

$$f(x) = A \cdot (E_0 + k_1 x) \cdot erf\left(\frac{E - C_1}{\sqrt{2}B_5}\right) \cdot erfc\left(\frac{E - C_2}{\sqrt{2}B_6}\right),$$

$$B_5 = \sigma\left(\frac{\sqrt{E_0}}{\sqrt{C_1}}\right), \quad B_6 = \sigma\left(\frac{\sqrt{E_0}}{\sqrt{C_2}}\right). \qquad (8)$$

В этой формуле A – амплитуда; B_5 и B_6 – параметры, зависящие от ширины.

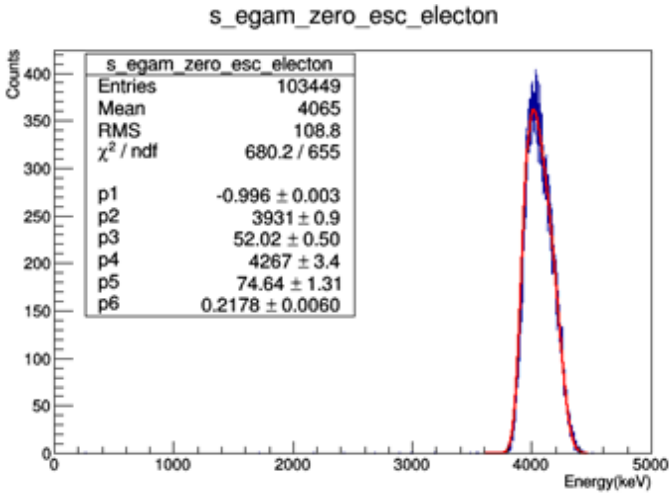


Рис. 7. Вылет электрона

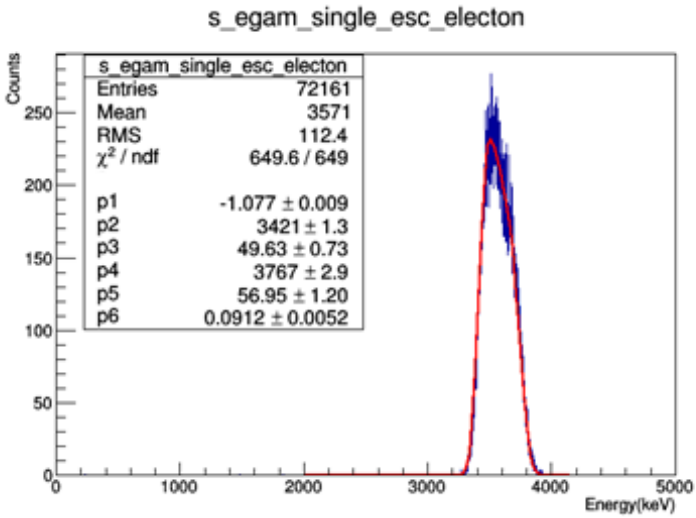


Рис. 8. Вылет электрона

На рис. 9 показано суммарное описание модельной функции отклика, построенное на основе вышеописанных компонент. Всего в таком описании использовалось 14 независимых параметров подгонки. Как видно, функция отклика корректно отражает все эти компоненты, а также их зависимость от энергии.

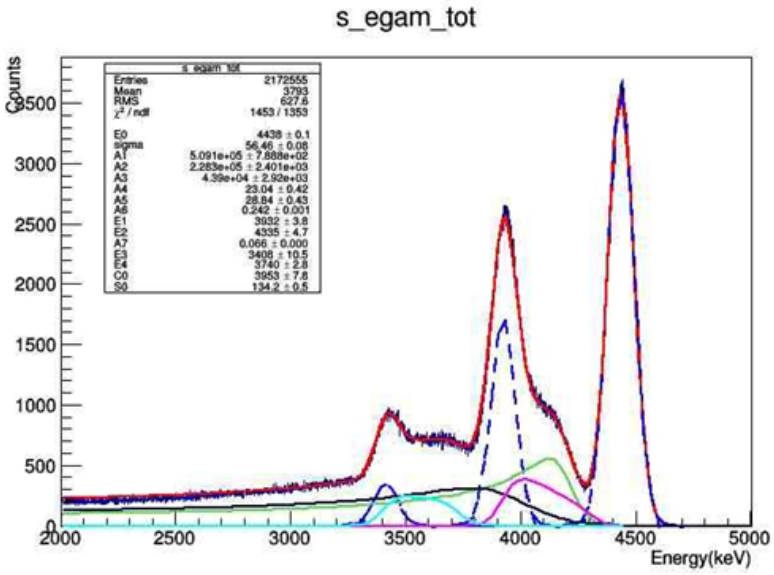


Рис. 9. Полная функция отклика

Заключение

Была проведена работа по определению параметров функции отклика сцинтилляционных детекторов на основе NaI[Tl] с использованием модельных спектров, полученных с помощью пакета GEANT4. Данная работа была проведена для определения параметров установки «РОМАШКА» с целью последующего использования установки в проекте «ТАНГРА» [6]. Полученная функция отклика может быть использована в дальнейшем для более точного определения угловых корреляций в данной реакции, а также для последующих работ по гамма-спектроскопии с использованием сцинтилляционных детекторов на основе NaI[Tl].

Авторы выражают благодарность И.Н. Рускову и В.М. Быстрицкому за многочисленные полезные советы. Работа была частично поддержана грантом РФФИ №:16-52-45056.

Библиографический список

1. Быстрицкий В.М., Грозданов Д.Н., Зонтиков А.О., Копач Ю.Н., Рогов Ю.Н., Русков И.Н., Садовский А.Б., Ской В.Р., Бармаков Ю.Н., Боголюбов Е.П., Рыжков В.И., Юрков Д.И. Угловое распределение γ-квантов с энергией 4,43 МэВ, образующихся при неупругом рассеянии нейтронов с энергией 14,1 МэВ на ядрах // Письма в ЭЧАЯ. 2016. Т. 13, № 4(202). С. 793–807.

2. Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Скубо Ю.В. Моделирование экспериментов с помощью детекторов гамма-излучения на основе сжатого ксенона // Атомная энергия. 2008. Т. 105, вып. 1. С. 38–44.

3. Захарченко А.А., Наконечный Д.В., Шляхов И.Н. Моделирование энергетической зависимости чувствительности CdTe (CdZnTe) детекторов гамма-излучения // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2007. № 1. С. 28–31.

4. Jin Y., Gardner R.P., and Verghese K. A semi-empirical model for the gamma–ray response function of germanium detectors based on fundamental interaction mechanisms // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A242. North – Holland, Amsterdam. 1986. P. 416–426.

5. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 506. 2003. P. 250–303.

6. Ruskov I.N., Kopatch Yu.N., Bystritsky V.M., Skoy V.R., Shvetsov V.N., Hambsch F.J., Oberstedt S., Capote Noy R., Sedyshev P.V., Grozdanov D.N., Ivanov I.Zh., Aleksakhin V.Yu., Bogolubov E.P., Barmakov Yu.N., Khabarov S.V., Krasnoperov A.V., Krylov A.R., Obho J. &353;, Pikelner L.B., Rapatskiy V.L., Rogachev A.V., Rogov Yu.N., Ryzhkov V.I., Sadovsky A.B., Salmin R.A., Sapozhnikov M.G., Slepnev V.M., Sudac D., Tarasov O.G., Valković V., Yurkov D.I., Zamyatin N.I., Zeynalov Sh.S., Zontikov A.O., Zubarev E.V.. TANGRA-Setup for the Investigation of Nuclear Fission Induced by 14.1 MeV Neutrons // Phys. Procedia. 2015. V. 64. P. 163–170.

7. Steljie M., Milosevie M., Belicev P. Monte Carlo simulations of the pulse – height response function of germanium detector // Proceedings 52nd ETRAN Conference, Palie, June 8–12, 2008. NT2. 4. P. 1–4.

8. Sood A., Gardger R. A new Monte Carlo assisted approach to detector response function // Nucl. Instr. & Meth B. 2004. Vol. 213. P. 100–104.

Поступила в редакцию
14.04.2017

УДК 539.12.134

Д. Керейбай, Е. В. Лычагин

Оптимизация геометрии счётчиков тепловых нейтронов для эксперимента по измерению времени жизни нейтрона методом хранения ультрахолодных нейтронов в ловушке

Перспективы дальнейшего роста точности экспериментов, посвящённых измерению времени жизни нейтрона, могут быть связаны с использованием методики удержания УХН в ловушке с малыми потерями и учётом потерь нейтронов путём регистрации потока нагретых нейтронов от стенок ловушки. Для планирования этого эксперимента в данной работе рассмотрены несколько возможных геометрий счётчиков нагретых нейтронов. Продемонстрировано, что использование дополнительного отражателя позволяет применить детектор в виде отдельных цилиндрических счётчиков без уменьшения эффективности регистрации нагретых нейтронов по сравнению с детектором, имеющим один рабочий объём. Результаты данной работы можно предложить для создания оптимальной геометрии экспериментальной установки.

Ключевые слова: ультрахолодные нейтроны, время жизни нейтрона, детектор.

Об авторах

Керейбай Диас – магистрант кафедры ядерной физики Государственного университета «Дубна». Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19/3, кв. 202 б. *E-mail: dias1994_kz@mail.ru.*

Лычагин Егор Валерьевич – кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной работе в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединённый институт ядерных исследований.

Нейтрон – самая долгоживущая из нестабильных элементарных частиц. В свободном состоянии он живёт почти 15 минут и распадается за счёт слабого взаимодействия на протон, электрон и антинейтрино.

Точное измерение электрического дипольного момента и времени жизни нейтрона всегда представляли большой интерес для решения фундаментальных проблем физики, которые определили столь активную деятельность в развитии методов получения ультрахолодных нейтронов, увеличения их плотности. Оба эксперимента являются исключительно важными для проверки Стандартной Модели взаимодействия элементарных частиц, а также для поиска возможных отклонений и способов расширения Стандартной Модели [9; 7]. Измерение электрического дипольного момента имеет принципиальное значение для нашего понимания условий, при которых могла возникнуть Вселенная, измерение времени жизни нейтрона даёт точные данные для расчёта первичного нуклеосинтеза. Задача измерения времени жизни (τ_β) обычно решается либо пучковым методом, либо методом хранения ультрахолодных нейтронов (УХН).

Основной вклад в среднее мировое значение берётся из работ [10; 11], которые описывают метод хранения УХН. Этот результат – $\tau_\beta = 878.5 \pm 0.7 \pm 0.3$ с. Другие результаты, содержащиеся в работах [3; 5; 8; 12], менее точны. Погрешность значений τ_β, полученных в этих экспериментах, составляет 2–3 с. Кроме того, результаты измерений, использующих методы хранения УХН [10; 11; 3; 5; 8; 12] и измерений с пучками холодных нейтронов [6; 13], отличаются на несколько секунд.

Наиболее точный пучковый эксперимент [6] даёт величину времени жизни нейтрона $\tau_\beta = 887.7 \pm 1.2 \pm 1.9$ с. Результаты, получаемые при использовании пучкового метода [6], отличаются от результата [10; 11] на 9.2 с. Наиболее вероятно различие вызвано систематическими эффектами, которые не были определены должным образом. Поэтому новые эксперименты по

© Керейбай Д., Лычагин Е. В., 2017

определению времени жизни нейтрона с точностью, по крайней мере, равной одной секунде, а также с надёжным учётом систематических эффектов крайне желательны.

Эксперимент по измерению времени жизни нейтрона методом хранения УХН в ловушке, с калибровкой потерь УХН по потоку нагретых нейтронов

Особенность УХН в том, что они могут отражаться от поверхности при любом угле падения, поэтому их можно удерживать в герметичных вакуумированных сосудах. Это даёт нам возможность более точно измерять время жизни нейтрона методом хранения УХН в герметичных ловушках.

В эксперименте измеряется постоянная времени хранения УХН в ловушке τ. Поскольку постоянная времени хранения связана простым соотношением с постоянной потерь τ_l и временем жизни нейтрона τ_β: $\tau^{-1} = \tau_\beta^{-1} + \tau_l^{-1}$, то изменяя величину потерь и экстраполируя τ_l к ∞, получаем $\tau_\beta = \tau$ [2]. При этом нужно достаточно точно учитывать потери на стенках ловушки, чтобы надёжно контролировать τ_l, или так уменьшить потери, чтобы можно было с желаемой точностью пренебречь величиной $1/\tau_l$.

Варьировать τ_l можно, либо меняя длину пробега УХН, либо меняя спектр УХН. В идеальном случае без учёта гравитации τ_l можно представить в виде $\tau_l = 4V / S\eta v f(v)$, где V и S – объем и площадь поверхностей ловушки; v – скорость нейтрона; $f(v)$ – известная функция. Здесь предполагается, что нейтроны в ловушке распределены изотропно, и величина τ_l всегда пропорциональна фактору $V/S\eta$. Поэтому, если при заданном объёме V менять площадь поверхности стенок S и экстраполировать S к нулю, то $\tau \to \tau_\beta$, независимо от вида функции $f(v)$.

Значение τ_l тем больше, чем меньше скорость накапливаемых нейтронов, поэтому τ_β целесообразно измерять, используя низкоэнергетические УХН. Из-за малых энергий необходимо учитывать гравитацию, что приводит к более сложной зависимости τ_l не только от скорости, но и от формы ловушки. Дно ловушки вносит в τ_l иной вклад, чем боковые стенки. Если ввести времена τ_b и τ_w, связанные с потерями при ударе нейтронов о дно и стенки соответственно, то $\tau_l^{-1} = \tau_b^{-1} + \tau_w^{-1}$. Для $\tau_{b,w}$ справедливы равенства $\tau_{b,w} = 4V / \eta v S_{b,w} f_{b,w}(v)$, где $S_{b,w}$ – поверхности дна и стенок ловушки; $f_{b,w}(v)$ – соответствующие функции скорости. Эти функции легко вычисляются при изотропном угловом распределении.

Точное определение потерь требует достаточно точного знания спектра хранящихся УХН. Для уменьшения спектральной зависимости потерь и других параметров (таких как время заполнения ловушки нейтронами, эффективности регистрации УХН и т.д.) можно использовать узкий спектр хранящихся нейтронов. Таким образом, минимальные потери и минимальная энергетическая зависимость параметров эксперимента будут достигаться при узком спектре УХН с малыми энергиями, нет необходимости делать ловушку высокой. Однако использование только начального участка спектра УХН заметным образом уменьшает доступную статистику. Для увеличения числа нейтронов, накапливаемых в ловушке, её объём должен быть значительным. Мы приходим к варианту установки невысокой и широкой ловушки. В качестве начальных параметров такой ловушки выбраны размеры: высота ловушки h=20 см, диаметр d=100 см.

В работах [3; 4] вместо расчёта τ_l (фактор потерь при внесении дополнительной поверхности считается равным на всей поверхности ловушки) был предложен метод калибровки потерь по потоку тепловых нейтронов, вылетающих сквозь стенки ловушки. Кроме того, в работе [4] было продемонстрировано, что использование расчётов приводит к большому разбросу результатов. Суть метода заключается в простых соображениях. УХН теряются из ловушки при взаимодействии с поверхностью только по двум каналам: захвату и неупругому рассеянию. При неупругом рассеянии УХН приобретает дополнительную энергию, перестаёт отражаться от стенок ловушки и покидает её, пролетая сквозь

стенки. При увеличении поверхности ловушки (если все поверхности идентичны) поток нагретых нейтронов увеличится пропорционально потоку нагретых нейтронов, вылетающих из ловушки. Регистрируя этот поток, можно определить изменение вероятности потерь. Для регистрации нагретых нейтронов ловушка должна быть окружена детекторами тепловых нейтронов.

Желание регистрировать поток нагретых нейтронов при минимальных потерях накладывает жёсткие требования к детектору тепловых нейтронов. Он должен быть высокоэффективным и низкофоновым. Действительно, при накоплении 10^6 нейтронов в объёме хранения в начальный момент времени, а также при факторе потерь $\sim 10^{-6}$ (коэффициент потерь для мягкого спектра в этом случае будет на уровне $5 \cdot 10^{-7}$) и частоте соударений нейтронов со стенками порядка 5 Гц можно ожидать поток нагретых нейтронов не более чем несколько нейтронов в секунду в 4π. Таким образом, фон детектора должен составлять не более 10^{-3} сек$^{-1}$, и желательно его иметь ещё меньше.

Фон детектора тепловых нейтронов определяется окружением экспериментальной установки, космическими лучами, активностью стенок детектора. Представляется целесообразным для регистрации потока тепловых нейтронов от ловушки использовать пропорциональный газовый детектор с ^{3}He. Такой детектор будет иметь минимальную чувствительность к внешнему гамма-излучению и к фону от космических лучей, фоны от активности стенок детектора могут быть уменьшены при помощи использования амплитудного анализа импульсов детектора и путём уменьшения площади поверхности детектора, а также путём покрытия стенок детектора «чистыми» материалами.

В данной работе были разработаны математические модели различных детекторов тепловых нейтронов с разными геометриями для выбора варианта с максимальной эффективностью регистрации. Для каждой модели были сделаны расчёты зависимостей вероятности регистрации, исходя из положения детектора, давления ^{3}He и наличия отражателя.

Создание геометрии детекторов УХН и их сравнения

Были созданы три модели детектора. Две модели детектора, имеющего единый газовый объём, отличались формой: одна модель в виде цилиндра диаметром d = 100 см и высотой h = 5 см, вторая – в виде правильного прямоугольного параллелепипеда со стороной основания a = 100 см и высотой h = 5 см. Третья модель – наборный детектор из трубок диаметром d = 5 см, перекрывающий площадь $S = 1 \times 1$ м^2.

Первые две модели с единым газовым объёмом соответствуют детектору с минимальной поверхностью стенок в рабочем объёме, что повышает эффективность детектора и уменьшает фон детектора из-за активности стенок. Однако в соответствии с прочностными характеристиками стенки такого детектора должны быть достаточно толстыми, кроме того, при разгерметизации такого детектора может быть потерян весь ^{3}He. В противоположность этому варианту наборный детектор может быть изготовлен из тонкостенных трубок, и выход из строя одной из трубок не приводит к потере работоспособности всего детектора. Однако эффективность такого наборного детектора может оказаться заметно ниже.

Для расчёта транспорта нейтронов от источника в детектор и расчёта эффективности регистрации был выбран метод МонтеКарло [1]. Вычисления были реализованы в виде программного кода на языке C++. Основные шаги алгоритма расчёта представлены ниже.

1. Моделирование источника нейтронов (розыгрыш координат и углов для определения направления вылета нейтронов). Поскольку нейтроны в низкой и широкой ловушке отражаются главным образом от дна, это значит, что дно является источником нагретых нейтронов, поэтому в качестве источника рассматривался круг с диаметром, равным диаметру ловушки d = 1 м.

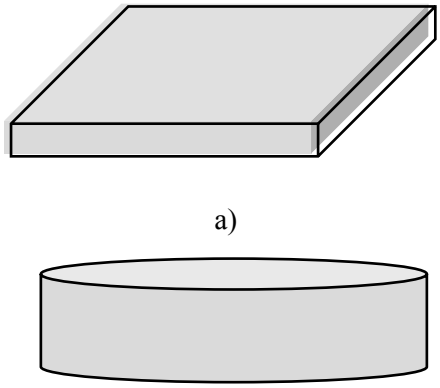
2. Расчёт попадания на детектор в зависимости от высоты расположения единого детектора над источником.

3. Средний свободный пробег и вероятность захвата нейтронов в детекторах единого и наборного типа.

4. Модулирование отражателя для незахватившихся и внешних нейтронов.

5. Расчёт захватившихся и рассеянных нейтронов.

Полученные результаты были представлены в виде графиков в программе Origin. На первом шаге создана компьютерная модель изотропного источника нейтронов. Для моделирования источника тепловых нейтронов разыгрывались координаты на плоскости источника и углы между направлением вылета нейтрона и поверхностью источника.



а)

б)

Рис. 1. Детекторы с единым объёмом:
а) в виде параллелепипеда; б) в виде цилиндра

На следующем шаге было подсчитано количество попавших и не попавших нейтронов в детекторы с разными геометриями в зависимости от расстояния от источника нейтронов до детектора. Далее были найдены геометрические эффективности и на основании полученных данных построены графики зависимости эффективности от высоты для обеих геометрий.

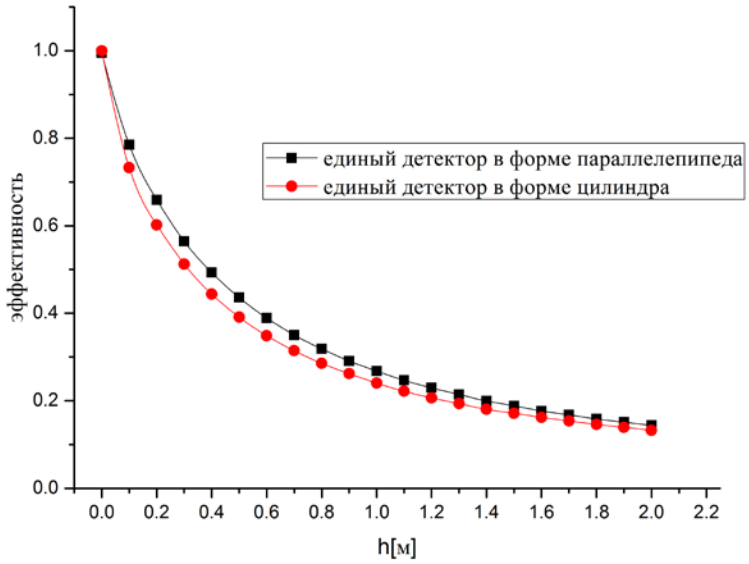


Рис. 2. Зависимости от высоты над объёмом хранения УХН для единого детектора в форме параллелепипеда и для единого детектора в форме цилиндра

Как видно из рис. 2, разница между эффективностью единого детектора в форме правильного параллелепипеда не сильно отличается от единого детектора в форме цилиндра, но детектор в форме правильного параллелепипеда является более удобным с технической точки зрения. Этот факт является основным преимуществом для дальнейшего его рассмотрения. Недостатками такого детектора являются его относительно низкая надёжность и необходимость иметь достаточно толстые стенки для избегания деформации при большом давлении газа.

С деформацией можно бороться и другими способами:

1) внутри объёма детектора сделать перегородки, которые не дадут ему деформироваться даже при высоком давлении рабочего газа;

2) использовать в качестве детектора набор тонкостенных цилиндрических газовых счётчиков. Например, 20 установленных в ряд цилиндров с диаметром 5 см (рис. 3).

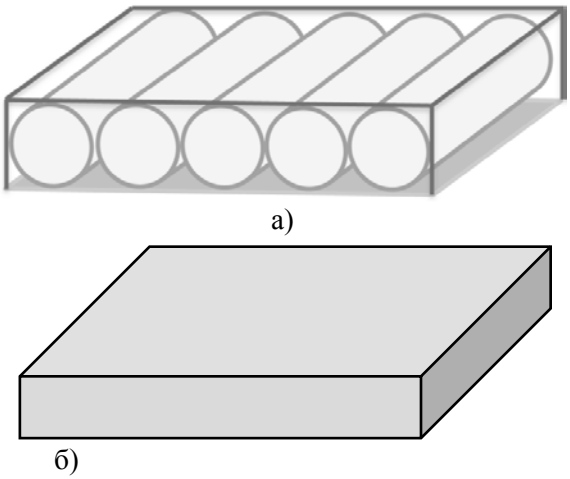


Рис. 3. Детекторы в виде параллелепипеда:
а) наборный, с газонаполненными цилиндрическими счётчиками в количестве 20 штук; б) с единым объёмом

Недостатком второго способа является уменьшение среднего пробега нейтрона, что в свою очередь приводит к уменьшению эффективности детектора. Однако имеет смысл рассмотреть эти две конфигурации и сопоставить их результаты. Целью следующего шага в написании кода являлся расчёт эффективности для двух конфигураций и с разными давлениями, результаты были записаны в таблице и показаны в виде графиков на рис. 4.

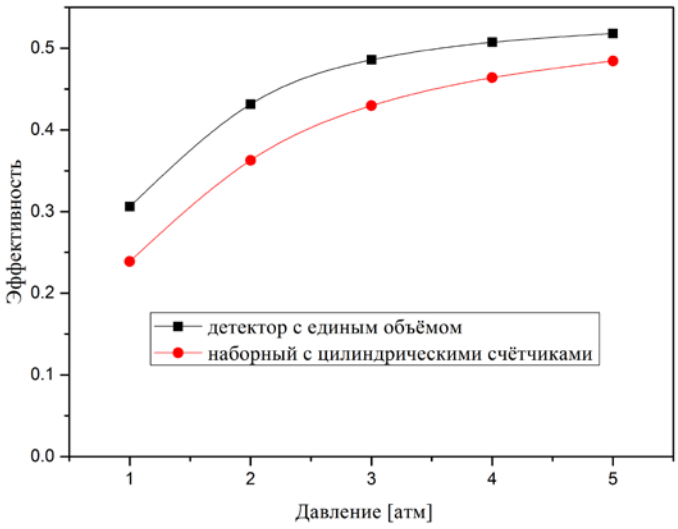
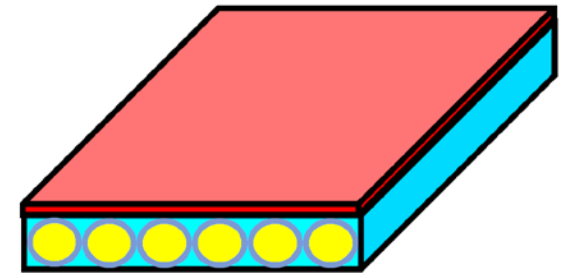


Рис. 4. Изменения эффективности для наборного детектора с цилиндрическими счётчиками и детектора с единым объёмом в зависимости от давления ^{3}He

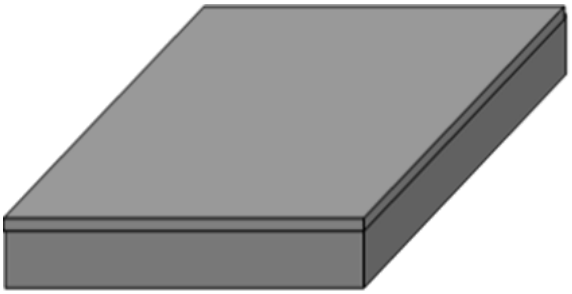
Для нахождения эффективности использовалась следующая формула: $\varepsilon = \sum_{i=1}^{N}\left(1 - \exp\left(-n\sigma l_i\right)\right)$, где l_i – средний свободный пробег нейтрона; N – общее количество нейтронов, хранящихся в ловушке; n – плотность нейтронов в веществе; σ – сечение захвата нейтрона веществом.

Из этого графика (см. рис. 4) следует, что эффективность единого детектора выше, как и предполагалось.

В целях улучшения эффективности при тех же значениях давления был использован отражатель, возвращающий нейтроны, прошедшие сквозь детектор назад, при этом внешние фоновые нейтроны также отражаются, что должно приводить к уменьшению фона тепловых нейтронов (выигрыш будет зависеть от спектра фоновых нейтронов при достаточно сильной эпитепловой компоненте; наличие толстого отражателя может привести к возрастанию фона). Процесс отражения нейтронов был рассчитан с помощью метода Монте-Карло. В качестве материала отражателя выбран полиэтилен толщиной 0.4 см. Итоги расчёта показаны в виде графиков и записаны в таблицу.



а)



б)

Рис. 5. Детектор: а) наборный с цилиндрическими счётчиками в количестве 20 штук, с отражателем; б) с единым объёмом в форме параллелепипеда, с отражателем

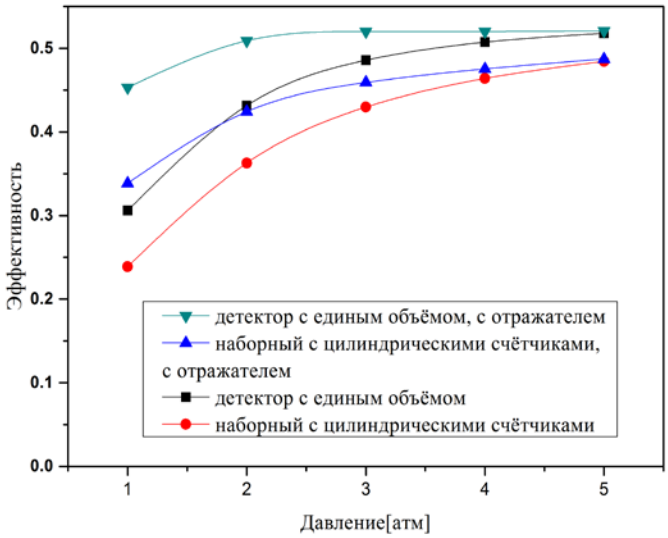


Рис. 6. График изменения эффективностей в зависимости от давления газа для наборного детектора с цилиндрическими счётчиками и для детектора с единым объёмом в виде правильного параллелепипеда

Эффективности для различных моделей детекторов

Характеристика эффективности		Вид и геометрические параметры детектора, m		
		Детектор с единым объёмом в виде цилиндра, $r = 0.5$, $d = 0.05$	Детектор с единым объёмом в форме параллелепипеда, $a = 1$, $b = 1$, $d = 0.05$	Наборный с цилиндрическими счётчиками в количестве 20 штук, $a = 1$, $b = 1$, $d = 0.05$, $r = 0.05$
Геометрическая эффективность детекторов в зависимости от высоты	0.2	0.602	0.785	–
	0.4	0.444	0.564	–
	0.6	0.348	0.435	–
	0.8	0.285	0.318	–
	1.0	0.240	0.267	–
	1.2	0.207	0.229	–
	1.4	0.181	0.199	–
	1.6	0.161	0.176	–
Изменения эффективности детекторов в зависимости от давления	1 атм	–	0.305	0.239
	2 атм	–	0.431	0.362
	3 атм	–	0.485	0.429
	4 атм	–	0.507	0.463
	5 атм	–	0.518	0.484
Изменения эффективности детекторов в зависимости от давления и наличия отражателя	1 атм	–	0.338	0.453
	2 атм	–	0.424	0.509
	3 атм	–	0.459	0.520
	4 атм	–	0.475	0.520
	5 атм	–	0.487	0.520

Заключение

В рамках данной работы были получены следующие результаты:

– разработаны математические модели различных вариантов реализации детектора и создана программа для проведения расчётов;

– получены зависимости эффективности детекторов в этих моделях от места расположения детектора, давления ^{3}He в детекторе и наличия отражателя за детектором.

На основании полученных зависимостей можно сделать следующие выводы:

1) детектор должен быть расположен как можно ближе к объёму хранения;

2) при равных условиях (положении, наполнении и т.п.) детектор с единым объёмом имеет более высокую эффективность, чем наборный детектор;

3) при необходимости уменьшения давления ^{3}He в детекторе с целью подавления фона уменьшение эффективности детектора к нагретым в ловушке нейтронам может быть скомпенсировано при помощи отражателя.

Библиографический список

1. Соболь И.М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973.

2. Alfimenkov V.P., Kharitonov A.G., Nesvizhevsky V.V., Serebrov A.P., Shvetsov V.N., Strlekov A.V., Taldaev R.R. // NIM. A324. 1993. P. 496–500.

3. Arzumanov S.S., Bondarenko L.N., Morozov V.I., Panin Yu.N., Chernyavsky S.M. // JETP Lett. 95. 2012. P. 224.

4. Arzumanov S.S., Bondarenko L., Geltenbort P., Morozov V., Nesvizhevsky V.V., Panin Yu.,

Chernyavsky S., Strepetov A. // Phys. Lett. B 745. 2015. P. 79–89.

5. Mampe W., Panin Yu., Bondarenko L., Morozov V.I., Fomin A.I. // JETP Lett. 57. 1993. P. 82.

6. Nico J.S., Dewey M.S., Gilliam D.M., Wietfeldt F.E., Fei X., Snow W.M., Greene G.L., Pauwels J., Eykens R., Lamberty A., Van Gestel J., Scott R.D. // Phys. Rev. C 71. 2005. 055502.

7. Nico J.S., J. Phys. G. // Nucl. Part. Phys. 2009. V. 318. P. 119.

8. Pichlmaier A, Varlamov V., Schreckenbach K., Geltenbort P. // Nucl. Instrum. Methods A 693. 2010. P. 221.

9. Pospelov M., Ritz A. // Ann. Phys. 2005. V. 78. P. 035505-1-035505-15.

10. Serebrov A.P., Varlamov V.E., Kharitonov A.G., Fomin A.K., Pokotilovski Yu.N., Geltenbort P., Krasnoschekova I.A., Lasakov M.S., Taldaev R.R., Vassiljev A.V., Zherebtsov O.M. // Phys. Lett. B 605. 2005. 72.

11. Serebrov A.P., Varlamov V.E., Kharitonov A.G, Fomin A.K., Pokotilovski Yu.N., Geltenbort P., Krasnoschekova I.A., Lasakov M.S., Taldaev R.R., Vassiljev A.V., Zherebtsov O.M. // Phys. Rev. C. 78. 2008. 035505.

12. Steyerl A., Pendlebury J.M., Kaufman C., Malik S.S., Desai A.M. // Phys. Rev. C 85. 2012. 065503.

13. Yue A.T., Dewey M.S., Gilliam D.M., Greene G.L., Laptev A.B., Nico J.S., Snow W.M., Wietfeldt F.E. // Phys. Rev. Lett. 111. 2013. 222501.

Поступила в редакцию
14.04.2017

УДК 711

К. В. Кивва

Оценка градостроительных «риск-факторов» как основа модернизации жизненной среды

Оценка градостроительных рисков рассматривается в качестве реального механизма их предупреждения и снижения. Представления о градостроительных «риск-факторах» были уточнены и дополнены автором в процессе разработки градостроительной «риск-концепции» как основы модернизации социально-экологической (жизненной) среды России.

Об авторе

Кивва Константин Васильевич – кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГБУ Центральный научно-исследовательский и проектный институт Минстроя РФ. 19331, г. Москва, проспект Вернадского, д. 29. *E-mail: Kivva44@ mail.ru.*

….мир вычисляем. Эпоха неспешных размышлений о моделировании мира закончилась, наступило время конструирования.
Джей Форрестор (1918–2016)

В соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации [4] важной задачей градостроительства как науки и практики является обеспечение градостроительными методами комфортной и экологически безопасной среды жизнедеятельности, способствующей развитию личности, сохранению историко-культурного и природного наследия России.

По мнению ряда авторитетных в архитектуре и градостроительстве авторов [7, с. 4, 5], проблема градостроительной безопасности является сложной комплексной проблемой и одной «из составляющих национальной безопасности нашего государства. Эта проблема лежит в сфере взаимодействия цивилизации и культуры. Задача градостроительной безопасности заключается, прежде всего, в формировании благоприятной среды жизнедеятельности людей» [13, с. 6].

Актуальность исследования проблем модернизации социально-экологической (жизненной) среды России обусловлена следующими обстоятельствами:

1) при оценке вклада различных факторов в создание потенциальной опасности для населения и бесперебойного функционирования систем жизнеобеспечения городов в настоящее время выявлены существенные пробелы;

2) в последние несколько лет произошел ряд масштабных природных и природно-антропогенных катастроф, обусловленных проявлением факторов, удалённых на десятки километров от городских поселений и кардинальным образом влияющих на состояние и качество городской среды;

3) адекватные рекомендации и предложения по предотвращению подобных катастроф в документах территориального планирования на сегодняшний день отсутствуют;

4) в последнее время всё острее встаёт проблема современных градостроительных вызовов, создающих угрозы для безопасности, комфортности и идентичности социально-экологической среды России.

Основные современные вызовы

Природно-обусловленные: глобальное потепление; прогрессирующее увеличение в тече-

© Кивва К. В., 2017

ние XX и в начале XXI веков количества и масштабов природных и природно-антропогенных катаклизмов.

Градоэкологические: высокие темпы деградации среды, приводящие к снижению уровня градоэкологической безопасности социально-экологической среды России; продолжающаяся в России деэкологизация промышленного производства и правоприменения в сфере реализации природоохранного законодательства и экологической политики.

Вызовы планирования и управления: принятие решений по существенному расширению территорий мегагородов до разработки «Государственной Стратегии пространственного развития России»; неуправляемый рост мегагородов и превращение их в гигаполисы; «ущербность и неразвитость градостроительного законодательства и государственного управления России».

В градостроительстве модернизация – это целенаправленное изменение жизненной среды в соответствии с современными вызовами: природно-обусловленными, градоэкологическими, санитарно-эпидемиологическими и вызовами планирования и управления.

Модернизация среды фактически является реакцией на современные градостроительные вызовы и связанные с ними проблемы. При этом в рамках разрабатываемой автором «риск-концепции» важное место отводится анализу рисков, выявлению и оценке основных градостроительных «риск-факторов» с целью обеспечения в течение ближайшей и отдалённой перспективы безопасности, комфортности и идентичности социально-экологической (жизненной) среды России.

Оценка градостроительных рисков нами рассматривается в качестве реального механизма предупреждения и снижения вероятности их реализации. Наши представления о градостроительных «риск-факторах» уточнены и существенно дополнены, в том числе и в процессе разработки градостроительной «риск-концепции» как основы модернизации социально-экологической среды России.

В результате наших исследований были выявлены риски, ответственные за градостроительную безопасность территорий, и появилась возможность приступить к их классификации. Градостроительные «риск-факторы» – процессы, явления и решения, представляющие повышенную (существенную) опасность для населения, объектов социальной и производственной инфраструктуры, в том числе и за пределами временного интервала, рассматриваемого в предпроектных исследованиях. При классификации градостроительных «риск-факторов» нами использован генетический принцип опасностей, относящихся к компетенции градостроительной науки.

Природно-обусловленными градоэкологическими «риск-факторами» являются: экстремальные наводнения и паводки, зоны активизации геодинамических процессов (прежде всего в пределах активных блокоразделов), эманации радона, исходящего из недр с интенсивностью более 80 мБк / м^2 в сек., неоптимальная минерализация питьевых вод (дефицит по йоду и фтору и др.), повышенное природное содержание тяжелых металлов в почвах (свинец, ртуть и др.).

Санитарно-эпидемиологическим «риск-фактором» являются опасные инфекции геологической среды (например, сибирская язва).

К антропогенным и техногенным «риск-факторам» отнесены: масштабные лесные пожары, высокий уровень загрязнения воздушного бассейна, брошенные склады ядохимикатов с истёкшими сроками хранения, масштабное использование пестицидов в сельском и лесном хозяйствах, территории с напряжённой и кризисной экологической ситуацией.

Лесные пожары «горячего лета 2010 года» на Европейской территории России – экологическая катастрофа с далеко идущими последствиями, в результате которой, по данным Росстата [4], пройдено пожарами 2026,9 тыс. га, а сгорело на корню 93,1 млн м^3.

Для сравнения, в 1992 г. пройдено пожарами 691,5 тыс. га, при этом сгорело 11,1 млн м^3 леса. По мнению многочисленных экспертов, масштабы и ущербы от лесных пожаров 2010 г. связаны, в том числе, с реализацией положений «Лесного кодекса» [9]. По И. Блокову: «Система предотвращения и ликвидации природных и лесных пожаров была окончательно ликвидирована с введением Лесного кодекса», утверждённого Президентом РФ 04.12.2006 г. [6, с. 53].

К сожалению, два года спустя, в 2012 г., масштабы лесных пожаров в Сибири и на Дальнем Востоке превысили катастрофу 2010 г. Площадь территорий, пройденных пожарами, по данным МПР России, в три раза превысила площадь Московской области. При таких темпах уничтожения лесов России биосферный вклад сибирской тайги как источника кислорода для северного полушария планеты в перспективе не следует преувеличивать.

Катастрофы природного и техногенного характера в последние годы обратили внимание исследователей на проблему оценки рисков планирования и управления, с которыми связаны наиболее масштабные ущербы в России. Для крупных проектов федерального или макрорегионального уровня отсутствие анализа «риск-факторов» при принятии решений чревато негативными последствиями геополитического, экономического, социального и экологического характера.

Проблемы деградации социально-экологической среды в последние десятилетия весьма обострились в России. Высокие темпы нарастания транспортного коллапса, депопуляция населения и неуправляемая миграция приводят к росту социальной напряжённости и конфликтного потенциала в городах.

По мнению ряда исследователей [8; 6], переход от парадигмы «градостроительная безопасность» к парадигме «риск-концепция» в течение ближайшей перспективы является необходимым условием предупреждения крупномасштабных региональных катастроф в нашей стране.

В отличие от техногенных рисков с летальными исходами и очевидными ущербами здоровью людей при оценке градостроительных рисков большее значение имеет обеспечение градоэкологической безопасности и снижение качества жизненной среды. Для территорий, отличающихся напряжённой или кризисной экологической ситуацией, ни один проект, осложняющий экологическую обстановку, не должен быть реализован.

Градостроительная «риск-концепция» нами рассматривается в качестве необходимого условия и основы для преодоления современных вызовов и проблем сбалансированного развития страны.

Термины и понятия градостроительной рискологии.

– Социально-экологическая (жизненная) среда – совокупность трех элементов: социально-культурного, хозяйственно-экономического и природно-экологического. Она формируется и развивается вследствие взаимодействия трех структурных частей системы жизнедеятельности общества: «населения – хозяйства – территории» (ее природно-ресурсного комплекса) на всех уровнях таксономии – от глобального до локального [10].

– Градостроительные «риск-факторы» – процессы, явления и решения, представляющие повышенную (существенную) опасность для населения, объектов социальной и производственной инфраструктуры (таблица).

– Реновация – процесс улучшения пространственной структуры городов, в нашем случае, с целью преодоления острых градоэкологических и транспортных проблем.

– Эко-реурбанизация – «комплекс моделей и инструментов, позволяющих проводить реорганизацию ранее урбанизированных пространств на основе экологического подхода» [2].

– Характерное время процесса – «время между последовательными относительно стабильными состояниями в процессах развития» [1]. В данном случае это время, по истечении которого возможны масштабные угрозы жизненной среде, высокие риски для населения и объектов социальной и производственной инфраструктур.

В основе модернизации большей части столиц и крупных городов Европы и Северной Америки – реализованные структурные изменения. Эти процессы в европейских городах завершились во второй половине XX века. К сожалению, как заметил ведущий эксперт в области урбанистики и территориального развития, профессор Вячеслав Глазычев: «Управление территориальным развитием, например, Москвы отстало от современного мирового опыта во всём его многообразии, по меньшей мере, на два десятилетия» [3].

Основные градоэкологические «риск-факторы»

Риск-фактор	Характерное время (годы)	Меры по снижению рисков
Природно-обусловленные		
экстремальные паводки и наводнения	10–100	повышение уровня предпроектных исследований и их реализации
зоны активизации геодинамических процессов	2–50	оценка рисков и реализация мер предпроектного уровня исследований
радоноопасность ряда селитебных территорий (более 80 мБк/м^2 в сек.)	10–30	меры нормативно-правового регулирования и их соблюдение
неоптимальная минерализация питьевых вод (дефицит по йоду и фтору и др.)	5–30	повышение качества воды за счёт модернизации систем водоподготовки
повышенное природное содержание тяжелых металлов в почвах (свинец, ртуть и др.)	10–40	дополнительные научные исследования проблемы и контроль качества сельхозпродукции
Санитарно-эпидемиологические		
опасные инфекции геологической среды (сибирская язва)	1–100	разработка дополнительных мер нормативно-правового регулирования при освоении территорий
Антропогенные и техногенные		
лесные пожары	2–25	поправки в Лесной кодекс, разработка и реализация системы превентивных мер
высокий уровень загрязнения воздушного бассейна	5–15	разработка и реализация программы оздоровления среды
брошенные склады ядохимикатов с истёкшими сроками хранения	3–10	обеспечение безопасного хранения и последующей утилизации
масштабное использование пестицидов в сельском и лесном хозяйствах	15–50	ограничить внесение пестицидов, в том числе с использованием авиации
территории с напряжённой и кризисной экологической ситуацией	10–50	исключить дальнейшее наращивание здесь промышленного потенциала
Риски планирования и управления		
деградация среды в результате переселения и перерастания мегаполисов в гигаполисы	10–40	разработка и реализация мер «Стратегии пространственного развития России»
снижение качества среды	10–30	повышение уровня предпроектных исследований и ответственности руководства

В случае игнорирования результатов исследований, выполненных профессионалами-градостроителями России, это отставание может стать необратимым [5].

В разделе «Устойчивые поселения» Повестки дня на XXI век, принятой конференцией «Рио-92», отмечено: «Для того чтобы уменьшить миграцию в большие города, правительства должны улучшить условия жизни в сельских районах и поощрять развитие городов среднего размера, предоставляющих рабочие места и жильё. Необходимо разумное управление, чтобы предотвратить расширение городов за счёт сельскохозяйственных земель и районов с хрупкой экологией» [16].

К сожалению, опыт модернизации столиц Европы, например Стокгольма или Копенгагена, оказался невостребованным при принятии решения о расширении более чем в два раза территории Старой Москвы. В качестве основного аргумента при принятии решения об увеличении площади Москвы обычно приводится внешнее сходство московской агломерации с зарубежными аналогами – парижской (регион Иль-де-Франс), лондонской и нью-йоркской агломерациями. Однако при этом оказывается незамеченным тот факт, что площади, и тем более численность населения, старых городов Парижа, Лондона или Нью-Йорка не были существенно увеличены. По информации директора Департамента городского планирования г. Нью-Йорка Пурнимы Капур, население города не превысило 8 млн человек, несмотря на продолжающуюся реализацию проектов по его реновации.

В Московском регионе уже сейчас на 0,27% территории России проживает примерно 20% населения страны, а через 30 лет здесь будет сконцентрировано до 60% населения, что абсолютно недопустимо во всех отношениях. К середине этого века расширение Москвы, по факту, может привести к реализации «китайской модели» превращения мегаполиса в гигаполис с населением около 100 млн чел.

«“Мегагорода”, объединяющие несколько городов и даже провинций, стали новым китайским градостроительным феноменом… Мегагорода создают мегавызовы для экономики, экологии, транспортной системы, муниципального и городского управления» [15]. В случае отсутствия реального управления территориальным развитием Москвы и других крупных городов вероятность такого сценария для России очень высока.

Современное градостроительное «развитие – это не строительство зданий и не получение ренты с продажи новых квартир на месте бывших фабрик, это бережное восстановление потенциала свободной планировки – грандиозного парка жизни, культуры, науки, искусства, отдыха и работы» [14].

Выводы и предложения

Проблемы модернизации социально-экологической (жизненной) среды при всей важности и остроте в масштабе всей страны могут успешно преодолеваться в результате глубокой научной проработки и при отражении их в следующих основополагающих документах:

– «Стратегии пространственного развития России»;

– «Генеральной схеме расселения»;

– «Схеме территориального планирования Российской Федерации».

Для крупных проектов федерального или макрорегионального уровня отсутствие анализа «риск-факторов» при принятии решений чревато негативными последствиями геополитического, экономического, социального и экологического характера.

Важным направлением градостроительной стратегии, обеспечивающим экологическую безопасность населения и устойчивое (сбалансированное) развитие территорий, является формирование природно-обусловленных экологических каркасов для различных территорий Российской Федерации.

Первый принцип Декларации Форума Рио-92 по окружающей среде и развитию гласит: «Забота о людях занимает центральное место в усилиях по обеспечению устойчивого развития. Они имеют право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой» [16].

Библиографический список

1. Арманд А.Д. Механизмы устойчивости геосистем. М.: Наука, 1992. 208 с.

2. Воронина А.В. Принципы «эко-реурбанизации» в архитектурном пространстве постиндустриального развития: дис. … канд. арх. наук. Н. Новгород, 2012. 177 с.

3. Глазычев В.Л. Между регионом и городом // GRADO. №1. М.: ЦНИИП градостроительства РААСН, 2011. С. 55–75.

4. Градостроительный кодекс Российской Федерации. М.: Ось-89, 2007. 176 с.

5. Кивва К.В. Проблемы устойчивого развития Московского столичного региона // AKADEMIA. Архитектура и строительство. № 2. М.: РААСН, 2012. С. 94–97.

6. Кивва К.В. Градостроительная «риск-концепция» как основа модернизации социально-экологической среды России. М., 2016. 1 CD-ROM. ISBN 978-5-9904587-9-6.

7. Кудрявцев А.П., Травуш В.И., Бондаренко В.М., Давиденко П.Н. Архитектурно-градостроительная безопасность устойчивого развития. М.: Известия, 2011. 56 с.

8. Лазарева И.В., Лазарев В.В. Глоссарий: Градостроительные меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций как ситуаций риска (RS). М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 112 с.

9. Лесной кодекс Российской Федерации. М.: Проспект, 2009. 47 с.

10. Матрусов Н.Д. Региональное прогнозирование и региональное развитие России. М.: Наука, 1995. 221 с.

11. На страже жизни и здоровья // Наша власть. 2013. № 03-04(125). 78 с.

12. Окружающая среда: авансы и долги // Наша власть. 2013. № 03-04 (125). 78 с.

13. Оленьков В.Д. Градостроительная безопасность. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 104 с.

14. Пальмин Ю. Вокруг окраин. Археология периферии. М., 2013. 528 с.

15. Программа Московского урбанистического форума. М.: ВТБ, 2016. 147 с.

16. Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы конференции «РИО–92». Центр «За наше общее будущее». Geneva, Switzerland, 1993. 70 с.

Поступила в редакцию
14.04.2017

УДК 539.1

М. Б. Маматова, В. Е. Миронов, С. Л. Богомолов

Моделирование потоков газов в ЭЦР-источниках ионов

После успешных работ по исследованию синтеза новых нуклидов стали активно развиваться методы их идентификации с помощью классических масс-спектрометров. Для одной из таких целей в ЛЯР ОИЯИ был создан масс-спектрометр MASHA. Работа посвящена изучению динамики потоков частиц в горячей ловушке MASHA с целью увеличения эффективности системы «мишень – ЭЦР-источник». Для этого была создана численная 3D модель горячей камеры в программе "MolFlow+", разрабатываемая в ЦЕРНе с 1990 года.

Ключевые слова: ЭЦР-источник ионов, сепаратор MASHA, горячая ловушка, "MolFlow+".

Об авторах

Маматова Меруерт Бахыткызы – студент-бакалавр кафедры «Ядерная физика» Государственного университета «Дубна». 141980 Московская обл., г. Дубна, ул. Ленинградская, 10. *E-mail: mira2604@mail.ru.*

Миронов Владимир Евгеньевич – кандидат технических наук, научно-технологический отдел ускорителей лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований, старший научный сотрудник.

Богомолов Сергей Леопольдович – кандидат технических наук, научно-технологический отдел ускорителей лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований, начальник сектора источников ионов.

Одним из наиболее ярких научных достижений последнего десятилетия явилось открытие новых сверхтяжелых элементов с Z = 113–118, а также новых нейтронно-избыточных изотопов элементов 104–112. Для их изучения были разработаны методы идентификации ядер с помощью классических масс-спектрометров. Сепарация новых нуклидов должна проводиться on line, т.е. непосредственно в ходе их синтеза на пучках ускоренных тяжелых ионов подобно ISOL методу [1].

ISOL метод основан на том, что в результате бомбардировки ускоренным пучком мишени в ней образуются радиоактивные ядра в широком диапазоне Z и A, которые тормозятся и остаются в веществе мишени. Образовавшиеся ядра затем извлекают из мишени. После извлечения из мишени ионы разделяются с помощью масс-сепаратора. Основным элементом этого метода является мишень, которая может быть толстой, в таком случае первичный пучок в ней полностью останавливается, или относительно тонкой, тогда вторичные частицы вылетают из мишени и захватываются газовой средой или твердым поглотителем. Преимуществом этого метода является возможность получения довольно интенсивных пучков радиоактивных ядер (до 10^{11} $с^{-1}$). Существует некоторое ограничение на минимальное время жизни ядер, получаемых ISOL-методом радиоактивных пучков, которое определяется временем их диффузии из мишени и, как правило, составляет не менее 0,5 с. Производящая мишень совмещена с ионным источником масс-спектрометра, который позволяет выделить нужные продукты ядерной реакции и в комплексе с системой транспорта ионов транспортировать их в постускоритель для достижения необходимых энергий [3].

Объектом исследования данной работы является горячая камера установки MASHA и система транспортировки продуктов реакции в ЭЦР-источник однозарядных ионов.

Установка MASHA (*Mass Analyzer of Super Heavy Atoms*) является масс-спектрометром, который позволяет захватить продукты реакций, транспортировать полученные атомы из горячей камеры в ЭЦР-источник однозарядных ионов и провести масс-анализ радиоактивных сверхтя-

© Маматова М. Б., Миронов В. Е., Богомолов С. Л., 2017

желых элементов. Особенность масс-спектрометра заключается в том, что он обладает способностью измерять массы синтезируемых изотопов сверхтяжелых элементов и одновременно регистрировать их альфа-распады или спонтанное деление.

Общая схема масс-спектрометра MASHA представлена на рис. 1. Установка состоит из мишенного узла с горячей ловушкой, ЭЦР-источника ионов, магнитооптической анализирующей части на основе четырех дипольных магнитов (D1, D2, D3a, D3b), трех квадрупольных линз (Q1, Q2, Q3), двух секступольных линз (S1, S2) и системы регистрации в фокальной плоскости [1].

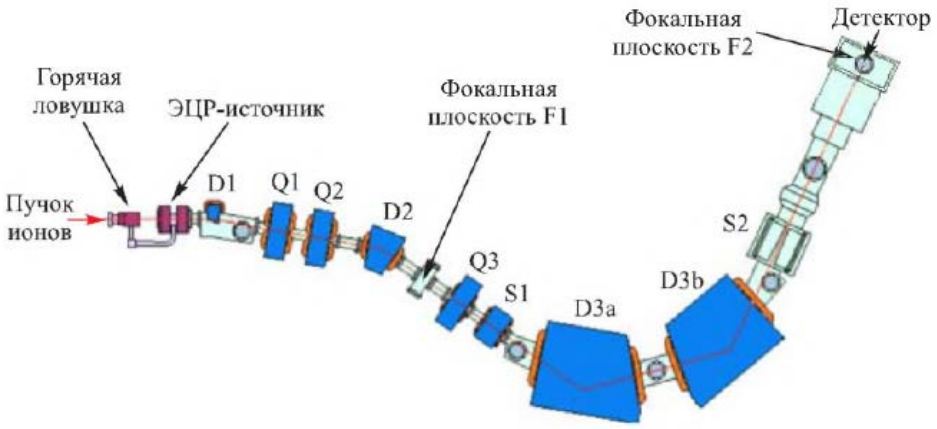


Рис. 1. Общая схема масс-спектрометра MASHA

Вначале первичный пучок тяжелых ионов, пройдя через ионопровод, попадает в систему диагностики, состоящей из разрезной диафрагмы и измерительной фольги (рис. 2). Разрезная диафрагма разделена на четыре сектора, каждый из которых измеряет часть тока пучка, не попавшего в отверстие диафрагмы. Эта система позволяет контролировать положение пучка относительно оси ионопровода. После системы диагностики расположена неподвижная мишень, которая крепится между двумя решетками, охлаждаемыми водой и имеющими сотовую структуру с прозрачностью 85%. Продукты ядерных реакций, включая ядра сверхтяжелых элементов, вылетают из мишени под углами ±8°, проходят разделительную фольгу *4* и останавливаются в графитовом поглотителе, который нагревается до 1500–2000 К. Далее атомы изотопов синтезируемых элементов, двигаясь из камеры горячего поглотителя *7*, через патрубок *8* попадают в разрядную камеру ЭЦР-источника *9*, где происходит их ионизация до заряда (1+).

Затем ионы сверхтяжелых элементов ускоряются до энергии 40 кэВ и анализируются по массе, проходя через специально сформированное магнитное поле. Масса иона определяется по величине постоянного магнитного поля, соответствующего определенной координате в фокальной плоскости. Оценки показывают, что полное время диффузии из поглотителя и доставка атомов в объем источника не будет превышать 0,3 секунды. Для легколетучих элементов успешно используется ЭЦР-источник 2,45 ГГц. Эффективность при получении пучка однозарядных ионов инертных газов для такого источника достигает 90% [2].

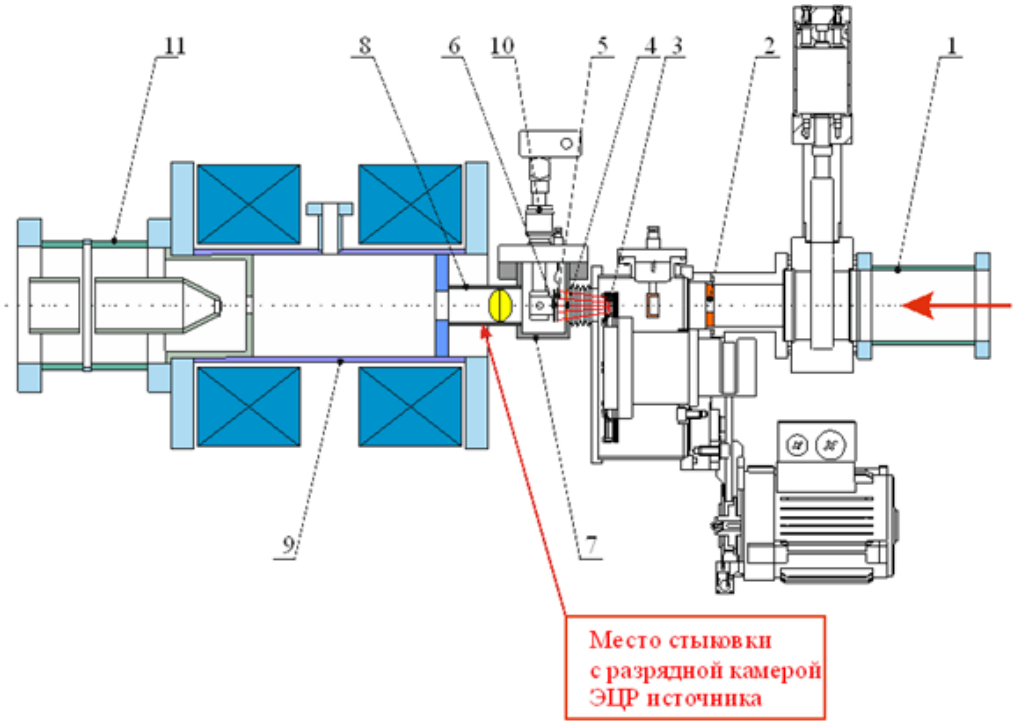


Рис. 2. Схема комплекса из мишенного узла, горячей ловушки и ЭЦР-источника ионов:
1 – изолятор; 2 – коллиматор; 3 – сектор мишени на Ti фольге; 4 – разделительная фольга; 5 – графитовая фольга; 6 – графитовый нагреватель; 7 – камера горячего поглотителя; 8 – патрубок; 9 – разрядная камера ЭЦР-источника ионов; 10 – электрический вакуумный ввод; 11 – двойной полый керамический изолятор

В ходе данной работы была создана численная 3D модель узла горячей камеры установки, соединенной с ЭЦР-источником ионов (рис. 3). Для подготовки элементов модели горячей камеры использовалась программа Cloud Compare [4]. Затем данная модель была импортирована в формате STL файла в программу “MolFlow+”.

“MolFlow+” – программа для Windows [5], позволяющая рассчитывать стационарное давление в любой произвольно сложной геометрии. Расчеты проводятся в предположении, что длина свободного пробега частиц много больше размеров камеры, так что столкновениями частиц друг с другом можно пренебречь. Программа использует для симуляции динамики газа метод Монте-Карло столкновений крупных частиц (PIC-MCC), отслеживая движение большого количества частиц в камере, принимая во внимание их отражение и рассеивание на поверхностях камеры.

На рис. 4 показана созданная численная модель в рабочем виде, где линиями изображены траектории движения частиц. Каждую секунду отображаемые результаты обновляются. Чем дольше длится симуляция частиц, тем меньше становятся статические флуктуации.

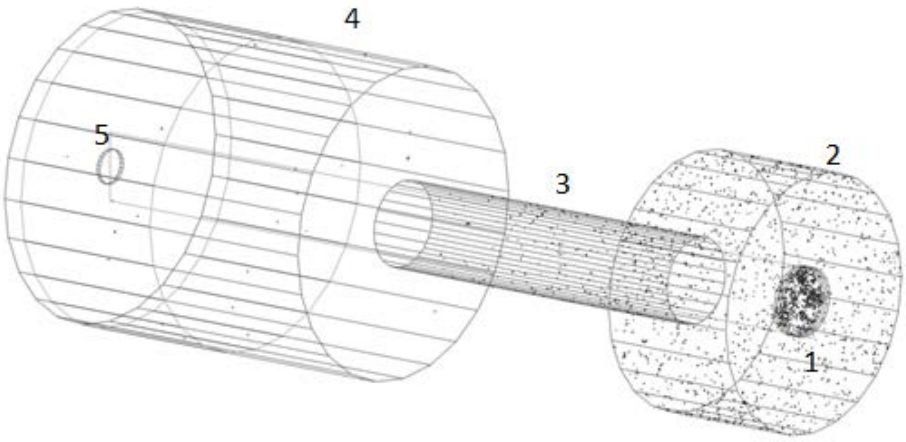


Рис. 3. Численная модель горячей камеры установки MASHA:
1 – мишенный узел; 2 – горячая камера; 3 – линия транспортировки; 4 – камера ЭЦР-источника; 5 – экстракционное отверстие

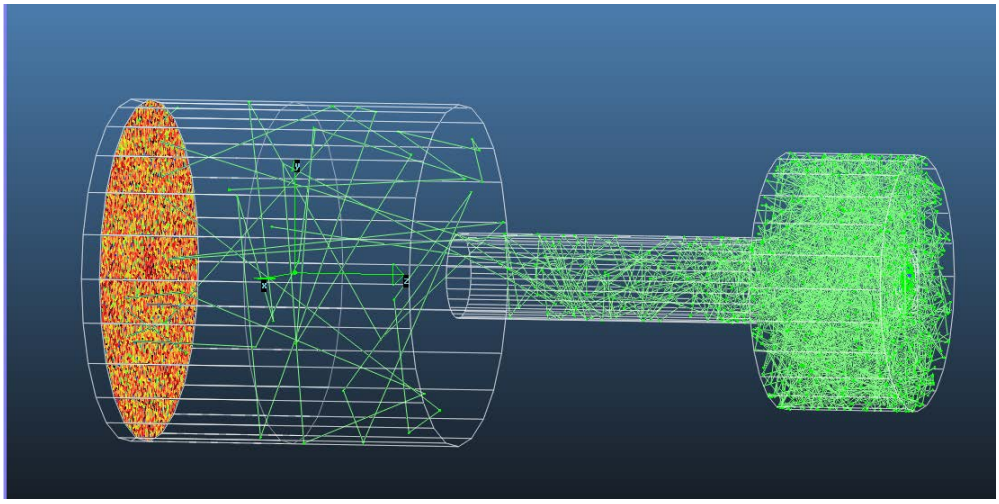


Рис. 4. Эволюция движения частиц в “MolFlow +”

В результате моделирования было получено распределение давления газа вдоль оси симметрии установки (рис. 5). Как видно из рисунка, давление вблизи мишенного узла (источника термализованных радиоактивных атомов) максимально и спадает по мере транспортировки атомов в источник ионов. Атомы покидают камеру через экстракционное отверстие источника ионов. Размеры горячей камеры оптимизируются так, чтобы достичь максимальной концентрации частиц в центре камеры источника.

На рис. 6 показаны кривые зависимости давления в центре камеры ЭЦР-источника от радиуса горячей камеры при разных временах жизни частиц и при разных положениях кэтчера соответствуют: а) правому краю положения кэтчера (сплошные линии, заполненные символы), б) левому краю (пунктирные линии, открытые символы). Данные для частиц, время жизни которых бесконечно большое, обозначены черными квадратными символами. Видно, что от размеров горячей камеры давление таких частиц практически не зависит – концентрация частиц

полностью определяется балансом между потоком частиц, десорбируемых из мишени, и потерями частиц через экстракционное отверстие.

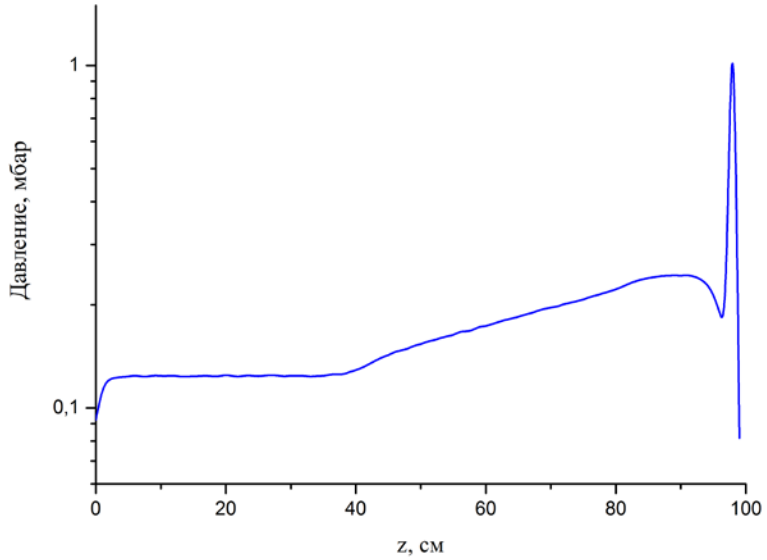


Рис. 5. Давление вдоль оси симметрии камеры

Размеры горячей камеры влияют на время диффузии частиц от кэтчера до центра камеры ЭЦР-источника. Программа “MolFlow+” не вычисляет время диффузии напрямую, для определения этой величины необходимо проводить вычисления с учетом конечного времени жизни частиц в результате радиоактивного распада. На рис. 6 показаны результаты расчетов для частиц с временами жизни $\tau = 1$, 0.5 и 0.05 секунд. С увеличением радиуса горячей камеры давление в центре камеры ЭЦР-источника уменьшается, т.к. увеличивается время транспортировки частиц в камеру источника.

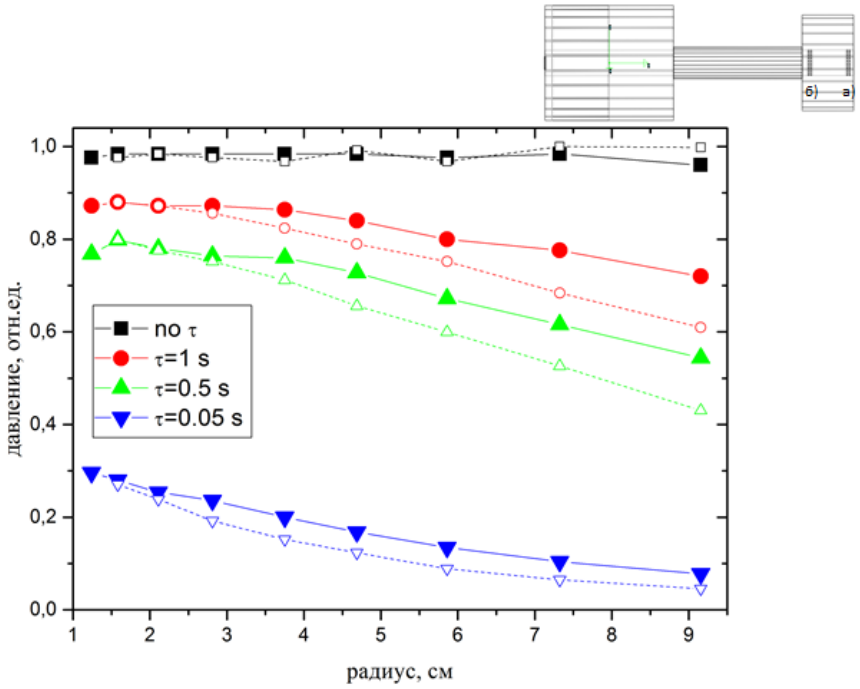


Рис. 6. Кривые зависимости давления в центре камеры ЭЦР-источника от радиуса горячей камеры при разных временах жизни частиц и при разных положениях кэтчера

Из результатов, показанных на рис. 6, можно сделать вывод, что эффективность транспортировки частиц в горячей камере установки MASHA увеличивается при уменьшении размеров камеры до величин, лишь ненамного превышающих диаметр кэтчера. Оптимальным положением кэтчера является положение *а*, близкое к входному окну камеры.

Разработанная численная модель камеры установки MASHA может быть использована для оптимизации геометрии камеры с целью повышения эффективности регистрации редких сверхтяжелых элементов.

Библиографический список

1. Родин А.М., Белозеров А.В., Ванин Д.В., Дмитриев С.Н., Иткис М.Г., Климан Я., Крупа Л., Лебедев А.Н., Оганесян Ю.Ц., Саламатин В.С., Сивачек И., Чернышева Е.В., Юхимчук С.А. Масс-спектрометр – MASHA – результаты тестов на пучке тяжелых ионов // Препринт ОИЯИ. 2011. Р. 15–47.

2. Efremov A., Bekhterev V., Bogomolov S., Gulbekyan G.,. Lebedev A.N, Loginov V.N., Smirnov Yu.I., Leporis M. The 2.45 GHz ECR ion source for the first stage of the DRIBs project // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 204. 2003. P. 368–371.

3. Lindroos M. Review of ISOL-type radioactive beam facilities // Proceedings of EPAC. CERN, Lucerne, Switzerland. 2004. P. 45–49.

4. Сайт разработчиков программного продукта «Cloud Compare». – URL: http://cloudcompare.org (режим доступа: свободный. Дата обращения: 01.04.2017).

5. Сайт разработчиков программного продукта “MolFlow +”. URL: http://molflow.web.cern.ch/content/about-molflow (режим доступа: свободный. Дата обращения: 01.04.2017).

Поступила в редакцию
14.04.2017

УДК 551.584.5 551.584.41

Е. А. Сорокина, М. А. Локощенко

Поверхностный «остров тепла» в Москве по данным спутников

Представлены результаты анализа снимков московского региона, полученных полярно-орбитальными спутниками "Aqua" и "Terra" за период с 2009 по 2013 гг. Приведены средние оценки интенсивности как поверхностного «острова тепла» г. Москвы в целом (2,6 °С), так и локальных «островов холода», связанных с отдельными лесопарковыми зонами внутри столицы (в среднем по выборке из 22 городских лесов и парков площадью более 0,5 кв. км составило –1,3 °С).

Ключевые слова: остров тепла, космические снимки, городские парки, AQUA, TERRA.

Об авторах

Сорокина Евгения Александровна – аспирант кафедры экологии и наук о Земле Государственного университета «Дубна». 171502, Тверская область, г. Кимры, ул. Ильинское шоссе, дом 41, кв. 51. *E-mail: black_cat_05.05@mail.ru.*

Локощенко Михаил Александрович – кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры метеорологии и климатологии географического факультета МГУ.

Городские «острова тепла», т.е. более высокая температура воздуха ($T_В$) и поверхности ($T_П$) внутри города по сравнению с окружающей его сельской местностью, присущи большинству городов и даже малых населённых пунктов (посёлков и деревень) – во всяком случае, в средних и высоких широтах [4; 5]. Это явление известно с первой половины XIX в., впервые оно было открыто знаменитым английским метеорологом-любителем Л. Говардом на примере г. Лондона. Повышению температуры воздуха в городах способствуют более высокая теплоёмкость искусственных покрытий (асфальта, бетона и пр.), меньшие затраты тепла на испарение осадков и транспирацию растениями, особенности радиационного баланса (городская индустриальная дымка, препятствующая ночному выхолаживанию), а также прямые выбросы тепла, связанные с человеческой деятельностью.

Обычно «острова тепла» изучаются по данным наземной сети метеорологических станций. Эти данные отличаются высокой надёжностью, многие станции имеют вековые ряды наблюдений, однако плотность наземной сети сравнительно мала (в России одна станция приходится в среднем на 10,5 тыс. км^2), поэтому выявить пространственные закономерности в среднем и местном масштабе зачастую не удаётся. Гораздо более подробные сведения о пространственном поле температуры можно получить либо посредством специальных маршрутных съёмок с помощью передвижных измерительных платформ (автомобилей или велосипедов, оснащённых датчиками), либо с использованием космических снимков в инфракрасном тепловом диапазоне. Однако маршрутные съёмки проводятся редко, тогда как спутниковые измерения постоянны и регулярны.

Анализ интенсивности городского «острова тепла» (т.е. разности температуры в городе и за его пределами) для условий Москвы по данным метеостанций о температуре воздуха приведён, например, в [9]. Нашей задачей явилось исследование «острова тепла» применительно к температуре поверхности с высоким пространственным разрешением по многолетним данным двух полярно-орбитальных спутников. Спутниковые данные широко используются для изучения особенностей поля температуры поверхности в разных городах, например в Будапеште (Венгрия) [11], в Эрбиле (Ирак) [12] и пр. Однако применительно к Москве до сих пор рассматривались лишь отдельные примеры спутни-

© Сорокина Е. А., Локощенко М. А., 2017

ковых снимков [3]. Новизна данной работы заключается в оценке интенсивности поверхностного «острова тепла» на основе большой выборки данных; предварительные результаты авторов опубликованы в [7; 8; 10].

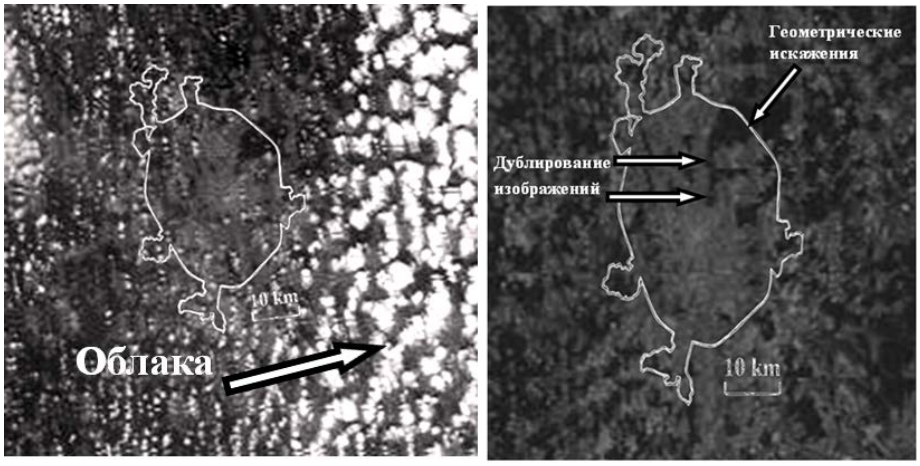
Методика анализа спутниковых данных

На сегодняшний день накоплены многолетние архивы спутниковых данных, представляющие собой ценный источник сведений о термической структуре земной поверхности. В отличие от наземных станций, где температура поверхности измеряется лишь на специальных вскопанных площадках размером 4×6 м, установленные на спутниках радиометры позволяют регулярно и с высоким пространственным разрешением измерять температуру реальной поверхности $T_П$. В большинстве случаев речь идёт о подстилающей поверхности открытых пространств, однако при зондировании лесных массивов с высокой сомкнутостью крон деревьев или плотной жилой застройки измеряется соответственно температура поверхности этих крон или крыш отдельных зданий.

Наиболее доступным и многолетним источником данных для московского региона служат космические снимки полярно-орбитальных спутников “Aqua” и “Terra” серии Earth Observing System, на которых установлен спектральный радиометр MODIS. Пространственное разрешение этих снимков составляет 1 км, а точность измерения температуры поверхности ±0,1 °C [13]. Пролёт обоих спутников над центром европейской России осуществляется каждодневно поздним утром и в начале дня: как правило, с 11 до 12 ч – “Terra”, с 13 до 14 ч – “Aqua” по зимнему московскому времени. Спутник “Aqua” обычно пролетает на 1 час 50 мин позднее “Terra”. Мы исследовали все снимки московского региона обоих спутников за пять лет: с 2009 по 2013 гг. (всего – 3652). Однако, к сожалению, в условиях нашего климата лишь малая часть снимков пригодна для анализа.

Во-первых, облачный покров непроницаем для электромагнитных волн в оптическом диапазоне, включая инфракрасное излучение. Это приводит к тому, что радиометр при наличии облаков измеряет температуру их верхней границы, а не подстилающей поверхности. Средний балл покрытия облаками в Москве по данным многолетних наблюдений в Метеорологической обсерватории МГУ составляет 7,7 (т.е. 77%) за период с 1954 по 2007 гг. [1]. В наших климатических условиях облака зачастую занимают бóльшую часть космического снимка региона (рис. 1*а*). Однако для корректного анализа пространственного поля температуры поверхности требуются совершенно безоблачные условия во всём Подмосковье. Нами были отобраны все случаи, когда доля покрытия облаками, дымкой или шлейфами лесных и торфяных пожаров (например, аномально жарким летом 2010 г.) составляла не более 5% всей площади региона на снимке.

Во-вторых, помимо влияния облачного покрова анализ затруднён нахождением Москвы на краю полосы съёмки, что приводит к сильным геометрическим искажениям и радиометрическим помехам. Пример таких ошибок съёмки приведён на рис. 1*б* – видно, что конфигурация города искажена, некоторые изображения дублированы (например, центр столицы, лесопарки Сокольники и Кузьминки и пр.). Кроме того, на снимке имеется множество точечных и линейных помех измерений.



а б

Рис. 1. Примеры снимков спутников *Aqua* и *Terra* Московского региона, непригодных для анализа

Потребовался тщательный визуальный критический контроль для отбора снимков, пригодных для анализа. Оказалось, что за пять лет с 2009 по 2013 гг. Москва находилась в центре полосы съёмки при ясном небе лишь в 108 из 3652 случаев (т.е. их доля составила около 3% от общей выборки снимков). Для обработки данных использовалось программное обеспечение ScanEx Image Processor 4.1, разработанное в ИТЦ СканЭкс.

Заметим важную методическую особенность нашего анализа. Поскольку безоблачные условия обычно связаны с господством антициклонов или гребней, когда «остров тепла» выражен сильнее, то результаты радиометрических измерений, скорее всего, показывают оценки его интенсивности, смещённые в сторону завышения.

Обсуждение результатов

В ходе работы составлены векторные слои, представляющие собой шаблоны границ как Москвы в целом (991 км^2 вплоть до 2011 г.), так и отдельных лесопарковых территорий площадью $\geq 0{,}5$ км^2 (рис. 2). Всего таких лесов и парков в черте города оказалось 22; самый большой из них – природный лес Лосиный остров вместе с парком Сокольники (38,8 км^2 в пределах МКАД), самый маленький – Ваганьковское кладбище (фактически – озеленённая территория площадью 0,51 км^2) [7]. Общая площадь всех 22 лесопарковых зон составила 126 км^2, т.е. 13% площади столицы в её традиционных границах. К сожалению, для анализа лесопарковых зон нам пока доступны лишь 85 из 108 имеющихся спутниковых снимков. Полученные в целом для города оценки $T_{\text{П}}$ сопоставлялись с результатами измерений этого показателя в Подмосковье в условных границах, заданных в виде прямоугольника площадью 105 599 км^2, в который вписаны административные границы Московской области.

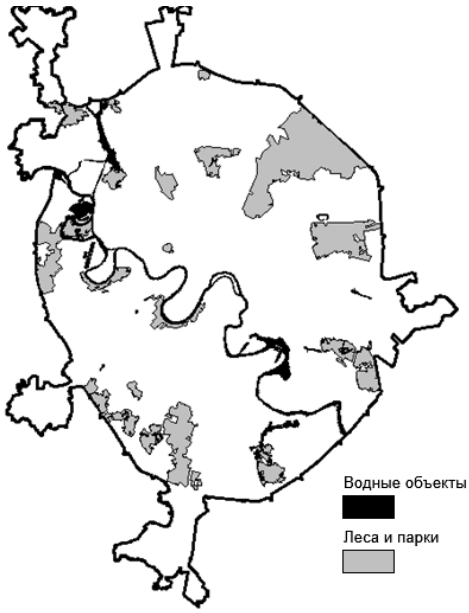


Рис. 2. Шаблоны границ лесопарков и поверхности открытой воды в Москве, созданные авторами для анализа спутниковых снимков (сплошной тёмной линией показаны традиционные (до 2011 г.) границы Москвы)

Сводные результаты работы представлены в таблице. Заметим, что значения температуры поверхности отличаются от используемой обычно температуры воздуха, измеряемой на высоте 2 м на метеорологических станциях. Поэтому предметом нашего изучения служит именно поверхностный городской «остров тепла». С другой стороны, приведённые ниже оценки – смещённые по сравнению со средними значениями, поскольку нам доступна лишь частная выборка безоблачных дней. Очевидно, такие дни наблюдаются в антициклональных условиях, т.е. обычно связаны с жаркой погодой летом и морозами зимой.

Как видим, интенсивность поверхностного «острова тепла», т.е. разность значений $T_П$ в городе и в сельской местности, в среднем за год составляет 2,6 °С. Данная оценка – более надёжная по сравнению с приведённой нами ранее в [10] – 2,8 °С, – поскольку прежнее значение было получено как простое среднее по всей выборке. Уточнённая же оценка рассчитана теперь как среднее из 12 среднемесячных значений, т.е. нормирована на изменения интенсивности в годовом ходе (с приданием равного веса данным за каждый месяц).

Наибольшая интенсивность в годовом ходе наблюдается летом (3,6 °С), а наименьшая – осенью (1,1 °С). Отметим также ярко выраженную асимметрию условий переходных сезонов: весной в городе $T_П$ заметно больше, нежели осенью.

Средние значения температуры поверхности по спутниковым данным в московском регионе за период 2009–2013 гг., °С

Локация	Время года				Среднее за год
	Зима	Весна	Лето	Осень	
Выборка 108 снимков					
Город	–13,6	11,0	30,3	8,2	9,0
Сельская местность	–16,2	7,9	26,7	7,1	6,4
Выборка 85 снимков					
Городские парки	–13,6	9,9	28,4	8,2	8,2
Остальная часть города	–13,1	11,5	30,9	8,8	9,5

Интенсивность «островов холода» внутри Москвы, т.е. разность средних значений $T_П$ внутри городских парков площадью не менее 0,5 км^2 и в остальной незалесенной части города, рассчитана нами по выборке из 85 космических снимков. В итоге среднее значение их интенсивности за период наблюдения с 2009 по 2013 гг. составило –1,3 °С. Отрицательный знак отображает охлаждающее влияние парков. Также можно заметить, что интенсивность «островов холода» имеет хорошо выраженный годовой ход: она наибольшая летом (–2,5 °С) и наименьшая зимой и осенью (лишь –0,5…–0,6 °С); весной же составляет промежуточное значение. Такой ход связан с изменениями, происходящими в растительном покрове со сменой времен года. На территории Москвы преобладают широколиственные породы деревьев, и время их активной вегетации и транспирации, приводящие к дополнительным затратам тепла, весной длится дольше, нежели осенью после опадания листвы.

Помимо зелёных зон нами создан также векторный слой поверхности открытой воды (рис. 2); все границы берегов тщательно определены с высокой точностью: в большинстве случаев – вплоть до нескольких метров, особенно вдоль края каменных набережных в центральной части столицы. Лишь на отдельных отмелях и на некоторых участках низкой поймы, где линия природного берега чётко не прослеживается, эта точность меньше. Всего выявлено и оконтурено 26 водных объектов, включая Москву-реку и отдельные пруды площадью не менее 0,1 км^2. Даже столь малая площадь принималась нами во внимание, если несколько прудов находились рядом, и в своей совокупности их поверхность могла превысить половину единичной километ-

ровой ячейки. Общая площадь всех водных объектов составила таким образом 29,0 км^2. Методическая сложность этой части анализа заключается в их малом размере: ширина русла Москвы-реки в черте города составляет лишь от 120 до 200 м, и обширных прудов либо озёр в столице также нет. В связи с этим разрешение данных спутников *Terra* и *Aqua* недостаточно для подробного анализа столь малых объектов: в каждую единичную ячейку площадью 1 км^2, соответствующую водной поверхности, входит также окружающая эту поверхность суша. Тем не менее, отметим полученные результаты. В среднем за год температура открытой воды мало отличается от всей остальной территории города, причём ярко выражен маятниковый характер этих различий: в холодный период года водные объекты в среднем теплее городской суши на 0,3 °С, а в тёплый – холоднее на 0,2 °С. Возможно, обе полученные оценки занижены по абсолютной величине, поскольку расчётные ячейки водных объектов включают также их берега. Изменение же знака разности температур в зависимости от сезона неудивительно с учётом большей тепловой инерции воды по сравнению с сушей. Нужно учесть и то, что ледостав на Москве-реке из-за тёплых промышленных сбросов неустойчив, так что поверхность реки даже зимой зачастую остаётся открытой. Более точные оценки термического влияния открытой воды можно получить с использованием данных спутников с большим пространственным разрешением, например серии Landsat.

Рассмотрим также особенности поля температуры поверхности во всём московском регионе, рассчитанного по данным той же выборки снимков за период 2009–2013 гг. с шагом расчётной сетки 15 км (рис. 3). Как видно, помимо ярко выраженной тепловой аномалии над Москвой прослеживается также заметное увеличение $T_П$ к востоку и юго-востоку от столицы. Наибольшие её значения в среднем за год вплоть до +8 ˚С и даже более отмечаются в приграничных районах соседней Рязанской области. Самая малая $T_П$ от 1 до 2 °С наблюдается на северо-западе Подмосковья.

Чтобы понять причины подобного распределения поля температуры поверхности в пространстве, рассмотрим физико-географические особенности московского региона. Так, карта лесистости Подмосковья по отдельным районам показывает, что доля площади земель лесного фонда в общей площади районов наименьшая как раз на юго-востоке Московской области (в среднем от 10 до 30%), а в двух крайних южных районах, Зарайском и Серебряноприудском – даже менее 10%. Средняя же по всей области лесистость составляет около 40%. Очевидно, что безлесные открытые участки в целом более сухие и более тёплые по сравнению с поверхностью крон деревьев. Кроме того, Мещёрская низменность к востоку от столицы характеризуется преобладанием песчаных и супесчаных почв [2] – в среднем также более сухих и более тёплых по сравнению с суглинками. Примечательно, что очень сходное распределение с наибольшими значениями к юго-востоку от Москвы показывают также карты средней температуры воздуха $T_В$ в июле, а также суммы $T_В$ >10 °С [6]. Мячкова и Сорокина объясняют это повышение увеличением летом повторяемости вхождений тёплых тропических воздушных масс из Казахстана и Средней Азии по направлению к юго-востоку от Москвы. Таким образом, поле средних значений $T_П$ в Московском регионе не сводится только к географической зональности и отражает действие разных факторов.

Что же касается поверхностного «острова тепла» над столицей, он проявляется на рис. 3 в виде одной концентрически замкнутой и ещё одной полукруглой изотерм. В среднем по всем четырём ячейкам расчётной сетки, характеризующим здесь Москву, $T_П$ составляет 5,5 °С; во всех остальных 458 ячейках вне Москвы $T_П$ = 3,2 °С, и только в ближнем Подмосковье с радиусом 45 км от границ города (в среднем для 60 ячеек вокруг столицы) $T_П$ = 3,5 °С. Разумеется, приведённая выше в таблице оценка интенсивности поверхностного «острова тепла» более точная, поскольку получена по данным с более высоким разрешением. Очевидно также, что более высокая средняя температура поверхности в ближнем Подмосковье отражает влияние крупных ближних пригородов столицы, каждому из которых присущ свой собственный «остров тепла». С увеличением же радиуса области сравнения сильнее проявляется климатическая зональ-

ность, требующая отдельного учёта. Таким образом, вопрос о наиболее точной оценке интенсивности «острова тепла» в зависимости от радиуса рассматриваемых окрестностей города методически непрост и требует дальнейшего осмысления.

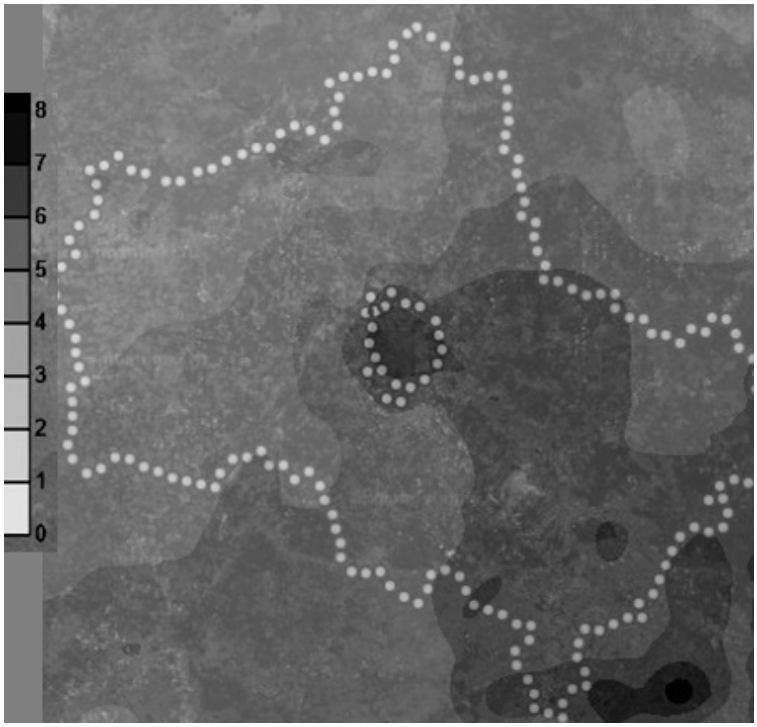


Рис. 3. Карта средней температуры поверхности московского региона по данным спутников *Aqua* и *Terra* за 2009–2013 гг. Тоновая шкала температуры в °С приведена слева; белыми точками показаны границы Москвы и Московской области

Авторы благодарят М.В. Зимина и его сослуживцев из Инженерно-технологического центра СканЭкс за предоставление программы и консультации. Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 14–05–00594, а также, в части общих оценок интенсивности острова тепла, при поддержке РНФ, проект № 16–17–10275.

Библиографический список

1. Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. Климатические ресурсы солнечной энергии Московского региона. М.: ЛИБРОКОМ, 2012. 312 с.

2. Атлас Московской области. М.: ГУГиК, 1964.

3. Балдина Е.А., Грищенко М.А. Исследование «теплового острова» Москвы по разносезонным снимкам Landsat-4/ETM+ // Геоинформатика. 2011. № 3. С. 62–69.

4. Кратцер П.А. Климат города. М.: Иностр. лит-ра, 1958. 240 с.

5. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеоиздат, 1983.

6. Мячкова Н.А., Сорокина В.Н. Климат Московской области. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 54 с.

7. Сорокина Е.А., Локощенко М.А. Острова холода в Москве // Труды пятого Международного экологического конгресса ELPIT-2015, Самара – Тольятти, 16–20 сентября 2015. Тольятти, СНЦ РАН, 2015. Т. 5. С. 254–261.

8. Сорокина Е.А., Локощенко М.А. «Остров тепла» в Москве по спутниковым данным // Тезисы докладов XX Всероссийской школы-конференции молодых учёных «Состав атмосферы. Атмосферное

электричество. Климатические эффекты», с. Безводное, Нижегородская область, 24–26 мая 2016 г. Нижний Новгород, типография Института прикладной физики РАН, 2016. С. 47–48.

9. Lokoshchenko M.A. Urban «heat island» in Moscow // Urban Climate. 2014. Vol. 10, part 3. P. 550–562.

10. Lokoshchenko M.A., Sorokina E.A. Urban “heat island” in Moscow by satellite data // Proceedings of the 9th International Conference of Urban Climate, Toulouse, France, 2015. Paper index: 11-7-3911378.

11. Pongracz R., Bartholy J., Lelovics E., Dezso Z., Dobi I. Satellite- and ground-based urban heat effect of the Budapest agglomeration area. Proceedings of the 8th International Conference of Urban Climate, Dublin, Ireland, 2008. Paper index 486.

12. Rasul A., Balzter H., Smith C. Spatial variation of the daytime Surface Urban Cool Island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8 // Urban Climate. 2015. Vol. 14, part 2. P. 176–186.

13. Steitz D. et al. Terra: flagship of the Earth Observing System // NASA press kit, release No. 99-120. 1999. 26 p.

Поступила в редакцию
14.04.2017

УДК 539.12.134

К. Турлыбекулы, Е. В Лычагин

Измерение вероятности малого нагрева ультрахолодных нейтронов и фактора потерь на безводородном масле Fomblin™ с различным средним молекулярным весом

В данной статье обработаны экспериментальные данные измерений, проведённых с целью определить вероятность так называемого «малого нагрева» и коэффициент потерь УХН на поверхности различных типов безводородного масла Fomblin. Явление «малого нагрева» – неупругое отражение УХН с малой передачей энергии, – представляет собой источник систематических погрешностей в эксперименте по измерению времени жизни нейтрона. Минимальный коэффициент потерь необходим для уменьшения вероятности поглощения УХН на стенках. В результате измерений сделан вывод о том, какой именно тип масла лучше подходит для покрытия объёма хранения УХН при измерении времени жизни нейтрона.

Ключевые слова: УХН, коэффициент потерь, малый нагрев УХН.

Об авторах

Турлыбекулы Кылышбек – магистрант кафедры ядерной физики Государственного университета «Дубна». Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19/3, кв. 208б. *E-mail: kilishbek-t@mail.ru*.

Лычагин Егор Валерьевич – кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной работе в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований.

Нейтроны очень низких энергий ($\approx 10^{-7}$ эВ), которые называются ультрахолодными (УХН), обладают уникальным свойством – их можно хранить в материальных и магнитных ловушках [1]. Это явление дает новые возможности для проведения экспериментов и изучения некоторых вопросов фундаментальной физики, физики частиц, атомного ядра и астрофизики. Один из таких экспериментов – измерение времени жизни свободного нейтрона.

Сведения о времени жизни нейтрона важны для физики частиц и атомного ядра, астрофизики и изучения фундаментальных взаимодействий [3].

Эксперименты по измерению времени жизни нейтрона можно разделить на два типа: пучковые эксперименты и эксперименты с хранением нейтронов в ловушках. В экспериментах пучкового типа измеряется скорость распада нейтронов внутри выделенной области нейтронного пучка, а в экспериментах с хранением сосуд заполняется ультрахолодными нейтронами и определяется число нейтронов, которые «выжили» после некоторого времени. Как функция от времени число нейтронов в ловушке вычисляется по следующей формуле: $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$, где $N(t)$ – число нейтронов, оставшихся в ловушке к моменту времени t; N_0 – число нейтронов, захваченных в ловушку в момент времени $t = 0$; τ^{-1} – скорость потерь. Величина τ^{-1} определяется как временем жизни нейтрона, так и дополнительными факторами потерь, которые необходимо сделать в эксперименте пренебрежимо малыми или точно учитывать. Полученное в пучковых экспериментах значение времени жизни нейтрона 887,7 ± 1,9 с [4], а в экспериментах с хранением нейтронов в ловушках это значение составляет 878,5 ± 0,3 с [5]. Значимое расхождение в результатах, полученных различными методами, является дополнительным стимулом в проведении новых высокоточных измерений.

Основными ограничениями повышения точности в методе измерения времени жизни с УХН связаны с несколькими систематическими

© Турлыбекулы К., Лычагин Е. В., 2017

ошибками, возникающими при учёте дополнительных (к распаду нейтрона) потерь нейтронов из ловушек:

– учёт потерь нейтронов при столкновении со стенками ловушки;

– остаточный газ в ловушке – остаточные молекулы газа являются источником дополнительного рассеяния и захвата УХН во время их хранения;

– утечка УХН через щели запирающих УХН заслонок в ловушке;

– отличие в эффективности регистрации УХН в начальные и конечные моменты хранения УХН – оно может возникнуть, если соответствующие энергетические спектры УХН отличаются в начальный t_1 и конечный t_2 моменты времени;

– малый нагрев УХН при ударах о стенки ловушки – процесс неупругого рассеяния нейтронов на поверхности с малой (сравнимой с начальной) энергией нейтрона. Этот процесс приводит к существенному изменению спектра нейтронов в процессе хранения. Потери нейтронов при взаимодействии со стенками в щелях зависят от энергии нейтронов, и контроль спектра нейтронов важен для точного учёта этих потерь.

Настоящая работа является частью подготовки к эксперименту по измерению времени жизни нейтрона. Целью работы является сравнение различных типов безводородного масла Fomblin* по вероятности полных потерь и вероятности малого нагрева для определения наиболее подходящего масла, которое можно использовать в качестве покрытия стенок ловушки УХН в планируемом эксперименте по измерению времени жизни нейтрона.

Метод измерения малого нагрева

Идея исследования (измерения) малого нагрева ультрахолодных нейтронов заключается в сохранении «мало нагретых» нейтронов в объеме хранения и регистрации их как обычных УХН. Необходимым условием применения такой методики является следующее условие: верхняя граница начального спектра УХН должна быть значительно ниже граничной энергии стенок ловушки, что позволит регистрировать нагретые нейтроны, энергия которых находится в диапазоне от этой границы до граничной энергии сосуда. Кроме того, в этом диапазоне нейтроны должны храниться в ловушке достаточно хорошо для того, чтобы их можно было эффективно собирать на детектор. Спектр нагретых нейтронов определяется в гравитационном спектрометре с поглотителем, расположенным над объёмом хранения, по зависимости числа регистрируемых нейтронов от высоты поглотителя. Нейтроны из конечного спектра отделяются от нейтронов из начального спектра гравитационным барьером, высота которого подбирается так, чтобы надежно разделить эти два диапазона. В такой постановке выполнены работы [2; 6–12].

Описание установки и процедуры измерения

Для изучения природы и характеристик малого нагрева был построен Большой гравитационный спектрометр УХН (БГС), позволяющий одновременно наблюдать за хранящимися УХН и образующимися в процессе их хранения «мало нагретых нейтронов» – ВУХН, или выпаривающихся УХН по аналогии с поведением молекул, покидающих поверхность жидкости. БГС обеспечивает регистрацию ВУХН в диапазоне энергий 30–150 нэВ с более высокой, по сравнению с предшествующими установками подобного типа, эффективностью $\approx 50\%$. Эффективность регистрации нейтронов для всех изучаемых энергии измеряется, а не оценивается, что обеспечивает точность и надежность результатов. Конструкция позволяет обеспечить быструю и удобную смену образцов и адаптацию установки для разных экспериментальных задач. Герметично отделенный от наружного вакуумного кожуха объем ловушки можно прогревать до температуры 600 К или охлаждать до 80 К, что позволяет проводить измерения в широком диапазоне температур и получать температурные зависимости вероятности малого нагрева в этом температурном интервале.

* Fomblin — торговое название фторполимерных жидких соединений, имеющих различные физические свойства и широкую область применения, например в вакуумной технике [5].

Принципиальная схема спектрометра БГС показана на рис. 1. Образец (1) располагается на дне спектрометра, внутри цилиндра (2) диаметром 40 см, который образует внутренний объем хранения УХН и является гравитационным барьером для нейтронов (весь внутренний объем хранения покрыт маслом Fomblin). За гравитационным барьером находится наружный объем хранения, куда могут попасть нейтроны, энергия которых достаточна для преодоления гравитационного барьера. УХН заполняют внутренний объем через входной нейтроновод и после этого запираются входной заслонкой (3). Калиброванное отверстие в дне спектрометра (8) позволяет измерять плотность потока УХН в спектрометре при помощи мониторного детектора (4). Спектр хранящихся УХН обрезается сверху поглотителем (5), устанавливаемым на определенной высоте H_{abs} (подъем нейтрона на 1 см в гравитационном поле Земли приводит к уменьшению его кинетической энергии на ≈ 1 нэВ, поэтому в дальнейшем мы будем указывать энергию УХН в сантиметрах).

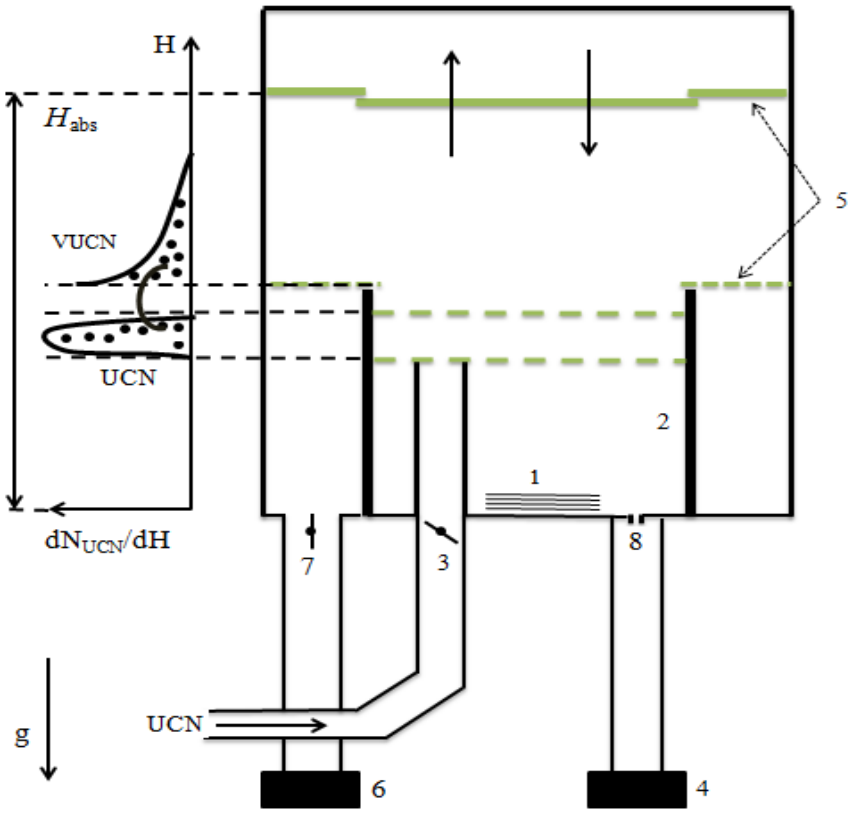


Рис. 1. Схема установки: 1 – образец; 2 – гравитационный барьер; 3 – входная заслонка; 4 – мониторный детектор; 5 – поглотитель; 6 – детектор нагретых нейтронов; 7 – выходная заслонка; 8 – калиброванное отверстие

Те нейтроны в спектрометре, энергия которых достаточна для подъема на высоту больше H_{abs}, «погибнут» через некоторое время в поглотителе. Детектор (6) расположен за гравитационным барьером (2), и поэтому в него могут попасть только нейтроны с энергией выше этого барьера. Если поглотитель находится выше гравитационного барьера, то ВУХН, образующиеся при столкновении УХН с поверхностью образца или со стенками внутреннего объема хранения и имеющие энергию больше E_{bound} (энергия, со-

ответствующая высоте гравитационного барьера), могут перепрыгнуть через гравитационный барьер и попасть во внешний объем, а из него в детектор (6), минуя выходную заслонку (7), открытую во время всего измерения. Гравитационный барьер может устанавливаться с различными высотами – от 30 до 120 см, но в данных измерениях использовался только барьер высотой 35 см.

Поглотитель изготовлен из полиэтилена, обладающего почти нулевой граничной энергией. УХН, попадающие в поглотитель, могут проникнуть внутрь вещества и либо захватиться ядрами вещества, либо нагреться до тепловых энергий и покинуть спектрометр. Однако с некоторой вероятностью УХН могут отразиться от поверхности поглотителя обратно в объем хранения. Для уменьшения этого отражения поглотитель имеет развитую поверхность. Поглотитель в нижнем положении удаляет УХН с энергией выше энергии гравитационного барьера при условии: $H_{\min} < E_{\text{bound}}$.

На рис. 2 представлены типичные временные зависимости счета детектора нагретых нейтронов и мониторного детектора в процессе измерения. Этот процесс состоит из нескольких последовательных этапов. Во время наполнения спектрометра (с 0-й по 150-ю секунду) входная заслонка открыта, поглотитель находится в нижнем положении. Некоторые УХН из первоначального спектра с энергией выше гравитационного барьера проходят в технологический зазор между поглотителем и стенками объема хранения, перепрыгивают гравитационный барьер, поэтому счет детектора высокий. После закрытия входной заслонки (150-я секунда) такие нейтроны быстро гибнут в поглотителе, вследствие чего счет детектора резко уменьшается. Если по истечении некоторого времени, достаточного для удаления из спектрометра всех УХН с энергией выше гравитационного барьера (счет детектора падает до уровня фона), поднять поглотитель в верхнее положение, то счет детектора возрастает и через некоторое время становится пропорциональным плотности потока УХН в спектрометре. Такая зависимость объясняется постоянным рождением в объеме хранения нейтронов (ВУХН) с энергией выше гравитационного барьера. На 900-й секунде поглотитель опускается в нижнее положение, и счет детектора опять падает до фонового значения.

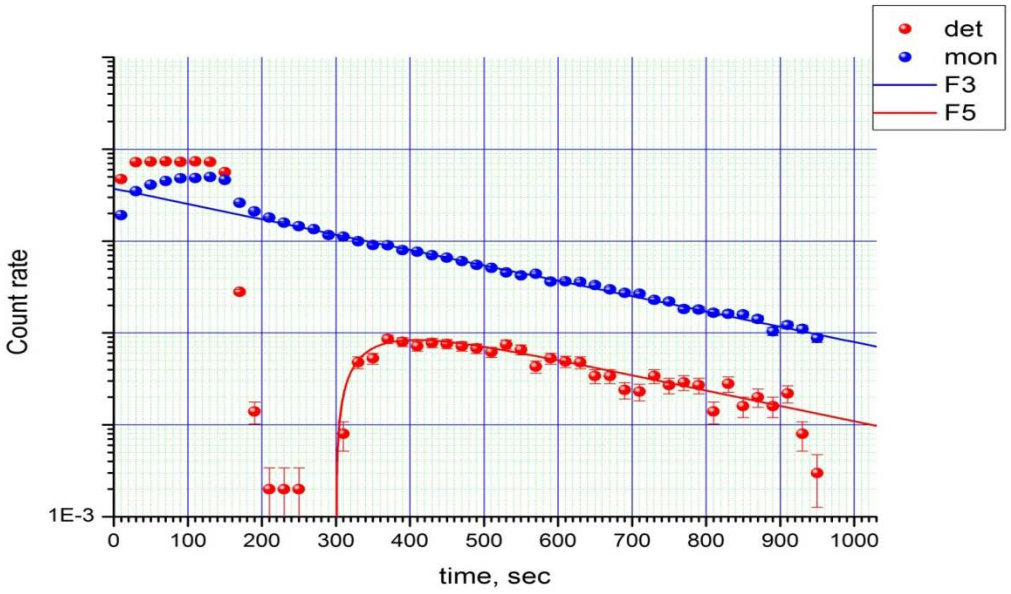


Рис. 2. Зависимость скорости счета детектора от времени

Описание образцов

В эксперименте изучались поверхности различных типов безводородного масла – высокотемпературного Fomblin, – которое может быть легко нанесено на любую поверхность. Это масло имеет состав, содержащий только C, O, F, и, как следствие, имеет малое сечение захвата. При нанесении на поверхность создает гладкий и зеркальный слой. Граничная энергия слоя составляет $106{,}5\cdot10^{-9}$ эВ, что соответствует граничной скорости 4,55 м/с.

Образцы были изготовлены из алюминиевых фольг толщиной 0,1 мм, на поверхность которых нанесены слои разных видов масел. Площадь каждого образца – 0,74 м^2.

Для проведения измерений предполагается использовать 3 вида жидкого фторополимера: Fomblin Y HVAC 18/8, Fomblin Y HVAC 25/9, Fomblin Y HVAC 140/13 соответственно с средними молекулярными массами 2800, 3300 и 6500 а.е.м. Некоторые характеристики этих масел представлены в табл. 1.

Таблица. 1. **Типичные свойства фторополимеров**

Свойство	Fomblin Y HVAC 18/8 (Fomblin 2800)	Fomblin Y HVAC 25/9 (Fomblin 3300)	Fomblin Y HVAC 140/13 (Fomblin 6500)
Средняя молекулярная масса, а.е.м	2800	3300	6500
Плотность при 20 °C, г/см^3	1.89	1.90	1.92
Кинематическая вязкость, мм^2/с:			
при 20 °C	190	285	1508
при 100 °C	9	12	32
при 200 °C	2	2.6	5
Застывание, °C	−42	−35	−23

Определение коэффициента потерь для разных образцов

Любое измерение времени жизни, использующее метод хранения УХН, основано на довольно простом уравнении:

$$\tau_{\text{хр}}^{-1} = \tau_{\beta}^{-1} + \tau_{\text{отв}}^{-1} + \tau_{\text{пот}}^{-1}. \qquad (1.1)$$

Полная вероятность потерь $\tau_{\text{хр}}^{-1}$ УХН состоит из трех слагаемых: 1) вероятность нейтронного β-распада τ_{β}^{-1}; 2) вероятность потерь на отверстиях $\tau_{\text{отв}}^{-1}$; 3) вероятность других возможных потерь $\tau_{\text{пот}}^{-1}$.

Поскольку УХН хранятся в материальной ловушке, то $\tau_{\text{пот}}^{-1}$ – вероятность потерь на стенках ловушки:

$$\tau_{\text{пот}}^{-1} = \mu(T,E)\nu(E), \qquad (1.2)$$

где $\mu(T,E)$ – функция потерь УХН при отражении, которая зависит от энергии УХН и температуры стенок ловушки; ν – частота столкновения УХН со стенками ловушки, зависящая от энергии УХН и размера ловушки. Функция потерь УХН при отражении, которая получена в предположении, что УХН отражается от потенциальной ступеньки с действительной U_0 и мнимой W частью, может быть представлена в следующей известной форме:

$$\mu(y) = \frac{2\eta}{y^2}\left(\arcsin y - y\sqrt{1-y^2}\right), \qquad (1.3)$$

где $y = v/v_{\text{lim}}$, v_{lim} – граничная скорость материала стенок сосуда; $\eta(T)$ – коэффициент потерь.

Можно переписать правую часть формулы (1.2) в виде произведения двух сомножителей, один из которых зависит только от энергии УХН, а другой – только от температуры ловушки:

$$\tau_{\text{пот}}^{-1} = \eta(T)\gamma(E), \qquad (1.4)$$

где $\eta(T)$ – не зависящий от энергии УХН коэффициент потерь и $\gamma(E)$ – эффективная частота столкновений, которая зависит от энергии УХН и размера ловушки. Различные значения эффективной частоты столкновений УХН γ можно получить, используя ловушки разного размера или различные значения энергии УХН. Эффективная частота столкновений УХН со стенками ловушки γ может быть рассчитана.

Частоту столкновений УХН можно выразить через поток УХН, направленный на поверхность $f(v)$, и плотность нейтронов в объеме $n(v)$. Для изотропного потока:

$$f(v) = \frac{1}{4} \cdot n(v) \cdot v,$$
$$n(v) = v, \qquad (1.5)$$
$$v = \sqrt{v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h},$$

где v – скорость УХН на высоте h; v_0 – скорость у дна сосуда.

Вероятность потерь в единицу времени можно написать в виде:

$$\eta \cdot \gamma = \frac{\int\limits_S f(v) \cdot \overline{\mu}(v) \cdot dS}{\int\limits_V n(v) \cdot dV}. \qquad (1.6)$$

Подставляя уравнение (1.4) и (1.5) в уравнения (1.6), получаем следующую эффективную частоту

$$\gamma = \frac{1}{2} \cdot \frac{\int\limits_S v_{\lim} \cdot \left(\arcsin(y) - y \cdot \sqrt{1 - y^2} \right) \cdot dS}{\int\limits_V y \cdot dV}, \qquad (1.7)$$

где $y = \frac{v}{v_{\lim}}$, $v_{\lim}$ – граничная скорость материала стенок сосуда; v – скорость УХН на высоте h.

Для определения коэффициента потерь на образце, помещаемом в спектрометр, необходимо провести два измерения времени хранения нейтронов – с образцом и без образца. Поскольку стенки внутреннего спектрометра были покрыты маслом Fomblin 6500, то для такой пары измерений с образцом, покрытым тем же маслом, можно записать следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{\text{II}}} = \eta_{6500}\gamma_{\text{стен}} + \frac{1}{\tau_\beta} + \frac{1}{\tau_{\text{отв}}} \\ \frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{\text{III}}} = \eta_{6500}\gamma_{\text{стен+обра}} + \frac{1}{\tau_\beta} + \frac{1}{\tau_{\text{отв}}} \end{cases} \rightarrow \frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{\text{II}}} - \frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{\text{III}}} =$$
$$= \eta_{6500}\left(\gamma_{\text{стен}} - \gamma_{\text{стен+обра}}\right),$$

где $\frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{\text{II}}}$ – время хранения УХН в пустом спектрометре; $\frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{\text{III}}}$ – время хранения УХН в спектрометре с образцом; $\gamma_{\text{стен}}$ – эффективная частота соударений УХН в пустом спектрометре; $\gamma_{\text{стен+обра}}$ – эффективная частота УХН в спектрометре с образцом.

Из этих измерений можно извлечь η_{6500} и $\frac{1}{\tau_{\text{отв}}}$:

$$\eta_{6500} = \frac{\frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{\text{II}}} - \frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{\text{III}}}}{\gamma_{\text{стен}} - \gamma_{\text{стен+обра}}},$$
$$\frac{1}{\tau_{\text{отв}}} = \frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{\text{II}}} - \frac{1}{\tau_\beta} - \eta_{6500}\gamma_{\text{стен+обра}}.$$

Написав аналогичные выражения для измерений с другими образцами, можно определить фактор потерь для этих образцов:

$$\eta_{6500}(T) = \eta_{6500} - \frac{\frac{1}{\tau_{\text{хр}}} - \frac{1}{\tau_{\text{хр}}}}{\gamma_{\text{стен+обра}}},$$
$$\eta_{2800}(T) = \frac{\frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{2800}} - \frac{1}{\tau_{\text{отв}}} - \frac{1}{\tau_\beta} - \eta_{6500}\gamma_{\text{стен}}}{\gamma_{\text{обра}}},$$
$$\eta_{3300}(T) = \frac{\frac{1}{\tau_{\text{хр}}^{3300}} - \frac{1}{\tau_{\text{отв}}} - \frac{1}{\tau_\beta} - \eta_{6500}\gamma_{\text{стен}}}{\gamma_{\text{обра}}},$$

$\eta_{6500}(T)$ – коэффициент потерь масла Fomblin 6500; $\eta_{2800}(T)$ – коэффициент потерь масла Fomblin 2800; $\eta_{3300}(T)$ – коэффициент потерь масла Fomblin 3300.

Определение вероятности нагрева для разных образцов

Под вероятностью малого нагрева P_{VUCN} будем понимать вероятность того, что УХН с энергией ниже энергии гравитационного барьера (E_{bound} = 30 см) после удара о поверхность образца увеличит свою энергию до величины, заключенной в интервале $E_{\text{bound}} < E_{\text{VUCN}} < 150$ см (верхняя граница этого интервала определяется

граничной энергией материала стенок спектрометра и максимальной высотой, на которую можно поднять поглотитель). В этом случае

$$P_{\mathrm{VUCN}} = \frac{N_{\mathrm{VUCN}}}{N_{coll}} = \frac{N_{\mathrm{det}}}{N_{coll}\varepsilon}, \qquad (2.1)$$

здесь N_{VUCN} – число образовавшихся за один цикл измерения ВУХН; N_{coll} – полное число столкновений УХН с поверхностью образца за цикл измерения; N_{det} – число отсчетов детектора в течение всей основной части цикла за вычетом фона; ε – эффективность регистрации ВУХН.

Исследуемые образцы располагаются на дне спектрометра, высота образцов не превышает нескольких сантиметров, поэтому плотность потока УХН, измеряемая мониторным детектором через маленькую дырочку в дне спектрометра, практический совпадает с плотностью потока УХН на поверхности образцов. Поэтому формулу (2.1) можно переписать в виде

$$P_{\mathrm{VUCN}} = \frac{N_{\mathrm{det}} S_{mon}}{N_{mon} S\varepsilon}, \qquad (2.2)$$

здесь N_{mon} – число отсчетов монитора в течение всей основной части цикла; S – площадь поверхности образца; S_{mon} – площадь маленькой дырочки в дне спектрометра, через которую УХН попадает в монитор. В такой форме записи выражения для P_{VUCN}, при условии, что мониторный и основной детекторы одинаковы, под эффективностью ε нужно понимать долю ВУХН, попавших в детектор, из всех «родившихся» ВУХН:

$$\varepsilon = \frac{\tau_{\mathrm{det}}^{-1}}{\tau_{\mathrm{VUCN}}^{-1}} = \frac{\tau_{\mathrm{det}}^{-1}}{\tau_{\mathrm{xp}}^{-1} + \tau_{\mathrm{det}}^{-1}}, \qquad (2.3)$$

здесь τ_{det} – время «вытекания» ВУХН из спектрометра на детектор; τ_{VUCN} – время хранения ВУХН в спектрометре при отрытой выходной заслонке; τ_{xp} – время хранения ВУХН в спектрометре при закрытой выходной заслонке. Обе величины, τ_{det} и τ_{xp}, зависят от энергии ВУХН и могут быть определены экспериментально. Соответственно, зависит от энергии и ε. Измерив зависимости $\tau_{\mathrm{det}}(E)$ и $\tau_{\mathrm{xp}}(E)$, можно вычислить $\varepsilon(E)$. Вид этой зависимости представлен на рис. 3.

Эффективности регистрации ВУХН также весьма близки для различных образцов. Причина этого совпадения состоит в том, что время хранения τ_{xp} в основном определяется потерями не на образце, а на стенках всего объема спектрометра, τ_{det} одинаково во всех случаях. Средняя эффективность зависит от формы спектра ВУХН, который мы не знаем в точности. Мы выбрали некоторое условное значение ε = 50%. Данная условность не мешает нам сравнивать различные образцы в предположении, что спектры ВУХН на различных образцах одинаковы. Все значения вероятности малого нагрева P_{VUCN}, которые будут приведены в дальнейшем, оценены для ε = 50%.

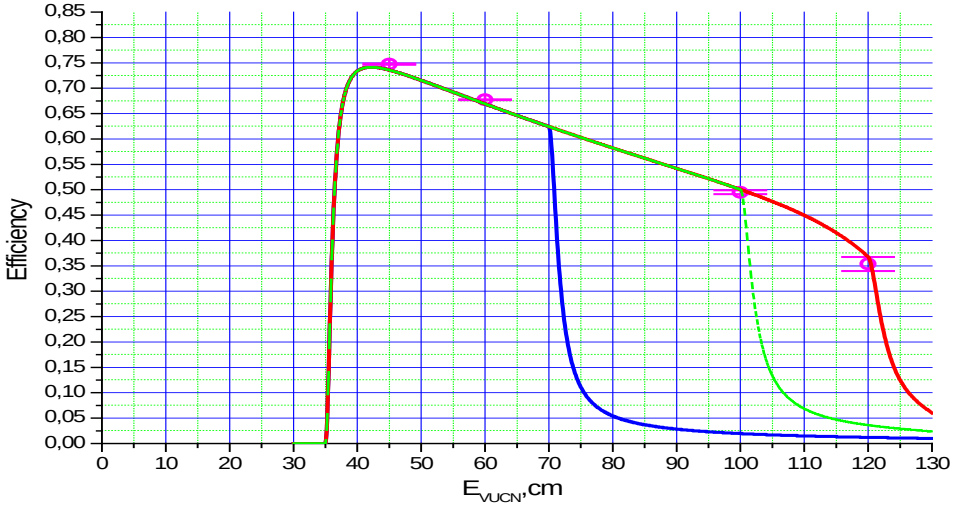


Рис. 3. Зависимость эффективности регистрации ВУХН от их энергии (различные линии означают зависимость эффективности регистрации ВУХН от различных высот поглотителя)

Результаты измерений

В табл. 2 приведены значения коэффициента потерь УХН при их хранении в ловушке, покрытой разными маслами Fomblin, и вероятности малого нагрева при температуре 24 ºС. Начальный спектр УХН заключён в относительно узком диапазоне от 25 до 33 см. Приведённые погрешности имеют статистическую природу. Систематические погрешности при определении коэффициента потерь связаны с отсутствием учета спектральной зависимости потерь, однако при данном спектре УХН эти ошибки не превышают величин статистических погрешностей. Систематика при определении вероятности малого нагрева связана в первую очередь с неопределённостью величины средней эффективности регистрации ВУХН. В предположении об одинаковости спектров нагретых нейтронов эта погрешность одинакова, что позволяет провести сравнение образцов по данному параметру.

Таблица 2. **Коэффициент потерь и вероятность малого нагрева**

Тип масла Fomblin	Коэффициент потерь, η	Абсолютная погрешность, Δη	Вероятность малого нагрева, *P*	Абсолютная погрешность, Δ*P*
Fomblin 2800	$3.8\cdot10^{-5}$	$2.8\cdot10^{-6}$	$6.9\cdot10^{-6}$	$2.5\cdot10^{-7}$
Fomblin 3300	$3.1\cdot10^{-5}$	$2.6\cdot10^{-6}$	$6.2\cdot10^{-6}$	$2.6\cdot10^{-7}$
Fomblin 6500	$6.4\cdot10^{-5}$	$3.5\cdot10^{-6}$	$3.3\cdot10^{-6}$	$1.1\cdot10^{-7}$

Заключение

В результате обработки экспериментальных данных получено, что при температуре 24 °С вероятность малого нагрева для тяжелого масла в несколько раз меньше, чем для лёгких, для которых значения эффекта практически не различаются. Коэффициент потерь УХН на тяжелом масле в несколько раз превышает значения, полученные на лёгких маслах. Минимальное значение коэффициента потерь получено для масла со средним молекулярным весом 3300.

Таким образом, масло Fomblin 3300 выглядит перспективным для использования его в качестве покрытия стенок ловушки в прецизионных экспериментах с УХН. Для окончательного выбора покрытия и определения диапазона температур, оптимального для измерения времени жизни нейтрона, необходимо повторить наши измерения с целью определения температурных зависимостей малого нагрева и фактора потерь на исследуемых маслах.

Библиографический список

1. Зельдович Я.Б. Storage of cold neutrons // ЖЭТФ. 1959. Т. 36. С. 1952.

2. Лычагин Е. В., Музычка А. Ю., Несвижевский В. В., Нехаев Г. В., Тальдаев Р. Р., Стрелков А. В., Швецов В. Н. // Препринт ОИЯИ Р3-2001-49. Дубна, 2001. 2002. № 7. С. 81–91.

3. Серебров А. П. Исследования фундаментальных взаимодействий в ПИЯФ НИЦ КИ с нейтронами и нейтрино на реакторах // УФН. 2015. 185(11). С. 1179–1201.

4. Bondarenko L., Geltenbort P., Korobkina E., Morozov V., Panin Yu., Steyerl A. Cooling of ultracold neutrons during their long storage in a trap // JETP Letters. 1998. V. 68, Issue 9. P. 691–695.

5. Lychagin E. V., Kartashov D. G., Muzychka A. Yu., Nekhaev G. V., Strelkov A. V. Mechanism of Small Variations in Energy of Ultracold Neutrons Ineracting with a Surface // Phys. At. Nucl. 2002. V. 65, No. 11. P. 1995–1998.

6. Lychagin E. V., Muzychka A. Yu., Nekhaev G. V., Nesvizhevski V. V., Tal'daev R., Strelkov A. V. // Phys. At. Nucl. 2000. V. 63(4). P. 609.

7. Nesvizhevski V. V., Geltenbort P., Iaydiev P. S. Strelkov A. V. // ILL Annual Report. 1997. P. 62; Eur. Phys. J. AP. 1999. V. 6. P. 151–1564; ЯФ. 1999. Т. 62. С. 832–843.

8. Serebrov A. P., Butterworth J., Daum M., Fomin A.K., Geltenbort P., Kirch K., Krasnoschekova I. A., Lasakov M. S., Rudnev Yu. P., Varlamov V. E., Vassiljev A.V. Low-energy heating of ultracold neutrons during their storage in material bottles // Phys. Lett. A. 2003. V. 309. P. 218–224.

9. Serebrov A., Butterworth J., Fomin A., Geltenbort P., Kharitonov A., Krasnoschekova I., Lasakov M., Pokotilovski Yu., Tal'daev R., Varlamov V., Vassiljev A., Zherebtsov O. // Phys. Lett. B 605. 2005. P. 72.

10. Serebrov A., Fomin A. K., Geltenbort P., Kharitonov A. G., Krasnoschekova I. A., Lasakov M. S., Pokotilovski Yu. N., Tal'daev R. R., Varlamov V. E., Vassiljev A. V., Zherebtsov O. M. // Phys. Rev. C. 78. 2008. 035505.

11. Steyerl A., Achiwa N., Geltenbort P., Krasnoshchokova I. A., Kwon O., Lasakov M. S., Pokotilovski Yu. N., Serebrov A. P., Vasilyev A. V., Yerozolimsky B. G. // Experimental study of quasi-elastic scattering of ultracold neutrons // Eur. Phys. J. B. 2002. V. 28. P. 299–304.

12. Yue A.T., Dewey M.S., Gilliam D. M., Greene G. L., Laptev A. B., Nico J. S., Snow W. M. and Wietfeldt F. E. // Phys. Rev. Lett. 111. 2013. 222501.

13. Характеристика и область применения масло Fomblin. – URL: http://www.solvay.com/en/binaries/Fomblin-PFPE-Lubes-for-Vaccum-Applications_EN-220533.pdf (режим доступа: свободный. Дата обращения: 25.03.2017).

Поступила в редакцию
14.04.2017

УДК 620.3

И. Н. Фадейкина, О. С. Ламакина, Е. Д. Грибова

Термическая устойчивость полианилина, полученного химическим и электрохимическим способами

В работе проведены синтезы полианилина (ПАНИ) химическим и электрохимическим методами. Экспериментально исследована термическая стабильность полученных образцов методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Установлено, что полученный химически полианилин имеет более высокую термическую стабильность.

Ключевые слова: полианилин, проводящие полимеры, допант, мономер, окислительная полимеризация, ДСК, термодеструкция.

Об авторах

Фадейкина Ирина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры химии, новых технологий и материалов Государственного университета «Дубна». 141980 Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская 19. *E-mail:i.fadeikina@yandex.ru.*

Ламакина Ольга Сергеевна – студент 4-го курса кафедры химии, новых технологий и материалов Государственного университет «Дубна».

Грибова Елена Дмитриевна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии, новых технологий и материалов Государственного университета «Дубна».

Среди проводящих полимеров полианилин (ПАНИ) выделяется широким спектром свойств, позволяющих использовать его в различных прикладных областях: сенсоры, топливные элементы, катализаторы, электрохромные устройства и многое другое. Отличительной чертой полианилина является его довольно высокая термическая стабильность, которая расширяет диапазоны применения полимера. Значительный интерес представляет изучение влияния форм существования полинилина, степени его окисления (протонирования), механизмов синтеза на термическую устойчивость.

Химическая стабильность полианилина зависит от его окислительно-восстановительного состояния. Лейкоэмеральдин неустойчив на воздухе и медленно окисляется. Пернигранилин и его соль устойчивы в атмосфере азота и на воздухе, и даже в токе кислорода, однако полностью теряют свою стабильность во влажной атмосфере или в воде из-за гидролиза. Эмеральдин и его соли устойчивы на воздухе, но полимер неустойчив к воздействию окислителей, в результате которого он превращается в пернигранилин и гидролизуется до п-бензохинона [8], устойчив при нагревании до 200 °С, при этом не наблюдается изменений в элементном составе полимера и потери массы [7]. При нагревании от 200 до 300 °С происходит уменьшение массы полимера, в среднем, на 10%, при этом процентное содержание атомов углерода, водорода и азота в элементном составе остается постоянным [4].

При нагревании полианилина до температур 600–800 °С начинается окисление его цепей кислородом воздуха. При окислении происходит потеря более 80% массы полимера в результате удаления воды, образующейся из кислорода воздуха и протонов ПАНИ, а также раскрытие бензольных или хиноидных колец, приводящее к получению продуктов распада, содержащих оксимную группу. Дальнейшее нагревание до 1000 °С вызывает незначительное уменьшение массы полимера до 93–95% вследствие дегидратации оксимной группы до нитрильной группы в продуктах разложения ПАНИ [8].

© Фадейкина И. Н., Ламакина О. С.,
Грибова Е. Д., 2017

При термическом нагревании протонированного соляной кислотой основания эмеральдина изменение в процентном содержании атомов углерода, водорода и азота происходит раньше, уже при температуре около 100 °С [8]. При данной температуре наблюдается уменьшение содержания водорода в полимере и потеря электропроводности ПАНИ, что вызвано его депротонированием в результате удаления HC1 [5; 6]. При дальнейшем нагревании поведение основания эмеральдина, образующегося после депротонирования ПАНИ, аналогично поведению непротонированной формы [8].

Химический синтез полианилина

Полианилин получают в результате окислительной полимеризации анилина под действием различных окисляющих агентов (рис. 1). Чаще всего полимеризацию анилина проводят в водных растворах с использованием таких инициаторов, как персульфат аммония, бихромат калия или хлорид железа (III) [4]. Как правило, реакцию проводят в сильнокислой среде при pH от 0,0 до 2,0, используя стехиометрически равные концентрации мономера и окислителя, чтобы избежать деградации (переокисления) полимера [1].

На данный момент наибольшее распространение получил метод синтеза ПАНИ в результате полимеризации анилина в солянокислом водном растворе под действием персульфата аммония [1; 7]. Данный способ характеризуется максимальными значениями выхода ПАНИ (около 90–95%), а также относительно высокой его электропроводностью (1–5 См/см) [4].

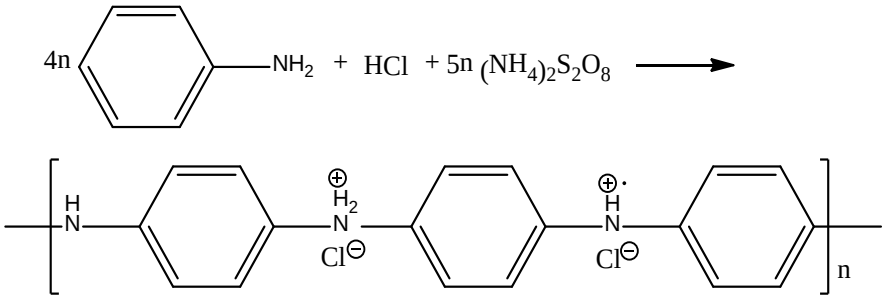


Рис. 1. Схема химического синтеза полианилина

Основными преимуществами химического синтеза являются: его простота и возможность получать большие количества ПАНИ с высоким выходом, а также низкая стоимость окислителя.

Основным недостатком метода являются: получение нерастворимого в обычных растворителях порошка ПАНИ и вытекающая отсюда сложность формирования проводящих слоев на соответствующих носителях.

Электрохимический синтез ПАНИ

Наиболее часто используемым методом синтеза электропроводящих полимеров (ЭПП) является электрохимическая полимеризация. Это связано с возможностью получения более чистого полимера без примесей окислителя, контроля толщины пленки и наблюдения процесса ее образования различными физико-химическими методами (оптические, электрохимические и другие). При этом молекулярные массы ПАНИ, синтезируемого электрополимеризацией, обычно ниже, чем при химическом синтезе.

Выход, морфология, электрохимическое поведение, адгезия к электроду, оптические свойства и другие характеристики пленки ПАНИ, полученной электросинтезом, определяются условиями проведения полимеризации, такими как тип и концентрация электролита, природа электрода, режимы синтеза. Это осложняет обобщение, и требуется специальное указание экспериментальных условий, для которых найденные закономерности действительны.

Чаще всего ПАНИ получают в среде водного раствора кислоты, однако также имеются работы по синтезу ПАНИ в неводной среде.

Основными методами проведения электрохимического синтеза являются гальваностатический (постоянство тока), потенциостатический режимы (постоянство электрохимического потенциала) и режим циклирования потенциала.

В работе синтез проводился в диапазоне потенциалов −200…800 мВ, с циклической разверткой при скорости развертки 25 мВ/с из водного раствора 0,2 М анилина в присутствии соляной кислоты (рис. 2).

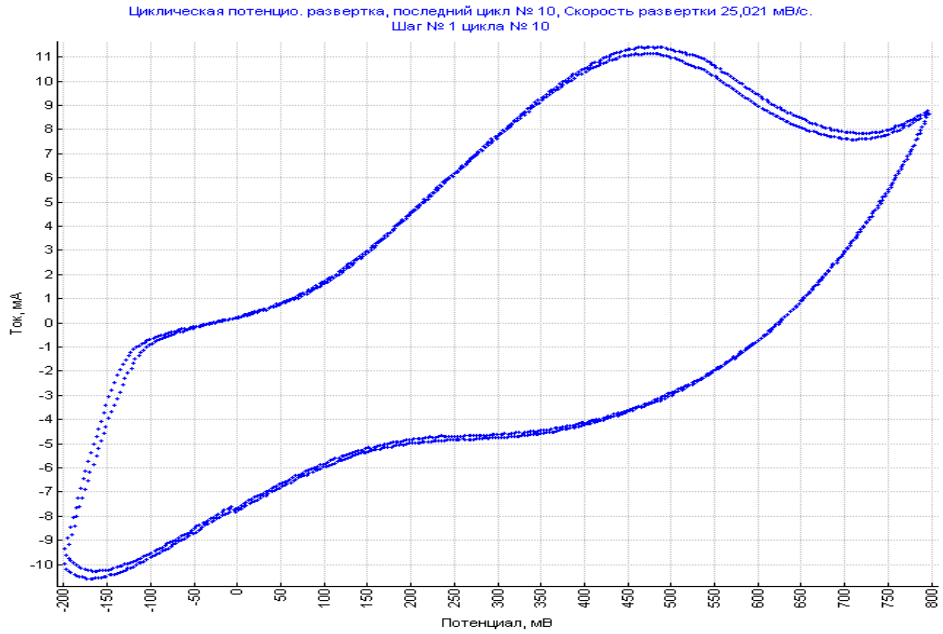


Рис. 2. Циклическая вольтамперограмма ПАНИ

Достоинства электрохимического синтеза. Электрохимический синтез ПАНИ имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с химическим синтезом. Это, прежде всего, возможность получения более чистого продукта, свободного от содержания примесей окислителя, во-вторых, в случае электрохимического осаждения – возможность контроля толщины наносимого слоя при оптимальном подборе условий с использованием различных физических методов анализа (например, спектроскопию, хронокулонометрию и т.д.) непосредственно в ходе процесса осаждения слоя [8].

Электрохимическая полимеризация анилина позволяет получить ПАНИ заданной степени окисления (в виде пленки на проводящей подложке или порошка) и характеризующийся минимальным количеством или полным отсутствием побочных продуктов в зависимости от условий полимеризации.

Основным недостатком электрохимического синтеза является невозможность переноса синтезированной пленки с поверхности электрода.

Термическая устойчивость полианилина, полученного химическим и электрохимическим способами

Для исследования термической устойчивости в представленной работе был использован ПАНИ, полученный путем химической [3] (рис. 4) и электрохимической полимеризации [2] (рис. 3), где в качестве допанта была использована соляная кислота. Термический анализ производили методом дифференциальной сканирующей калориметрии на термоаналитической установке “Q-600” “TA Instruments” (США). Полученные термограммы содержат уточненную информацию по деструкции ПАНИ. В области 80–120 °С для обоих образцов наблюдается уменьшение

массы, которому соответствует эндотермический пик на кривой ДСК. Это может быть связано с потерей адсорбированной воды, присутствующей в образце. В интервале температур 180–190 °С для образца, полученного химическим путем, наблюдается уменьшение массы на 9.9%, которому соответствует эндотермический пик на кривой ДСК. Возможно, этот процесс связан с тем, что полимерная цепь разрушается, образуя несколько цепей (образование фракций). Потеря массы образцов, наблюдаемая при температуре выше 350 °С, связана с деструкцией полимерных цепей и окислительными процессами. ПАНИ, полученный химическим методом, проявляет более высокую термическую стабильность – полная деструкция в атмосфере воздуха проходит при 549 °С. Для электрохимически синтезированного полимера полная деструкция происходит при 517 °С.

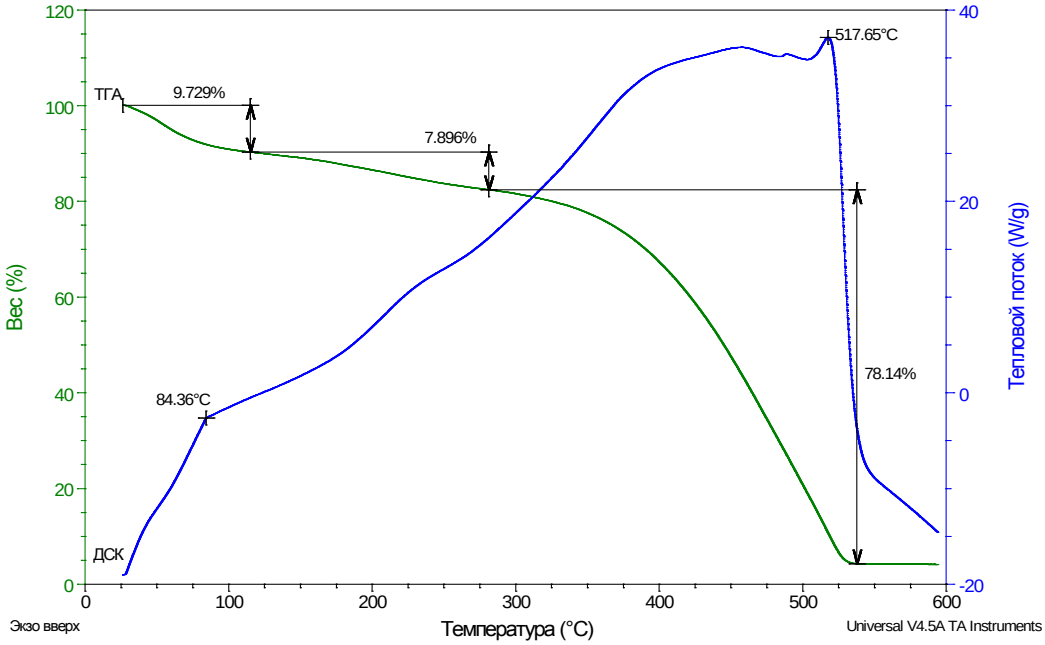


Рис. 3. Термограмма ПАНИ, полученного электрохимическим методом

После исследования термограмм образец, полученный химическим способом, проверяли на содержание чистого анилина, т.к. было выдвинуто предположение о том, что потеря массы образца связана с испарением непрореагировавшего анилина.

Образец ПАНИ растворяли в четыреххлористом углероде, сам полимер не растворим, а чистый анилин подвергается экстракции в данном растворителе. После чего образец исследовали на ИК-Фурье спектрометре.

Было установлено, что потеря массы полимера, полученного химическим способом при повышении температуры, не связана с наличием непрореагировавшего анилина.

Исследованные термические свойства позволяют заключить, что термическая устойчивость полианилина достаточно высокая, что может служить предпосылкой для создания на его основе различных сенсоров. Более того, появляется перспектива получения тонких пленок этого материала при изготовлении сенсоров.

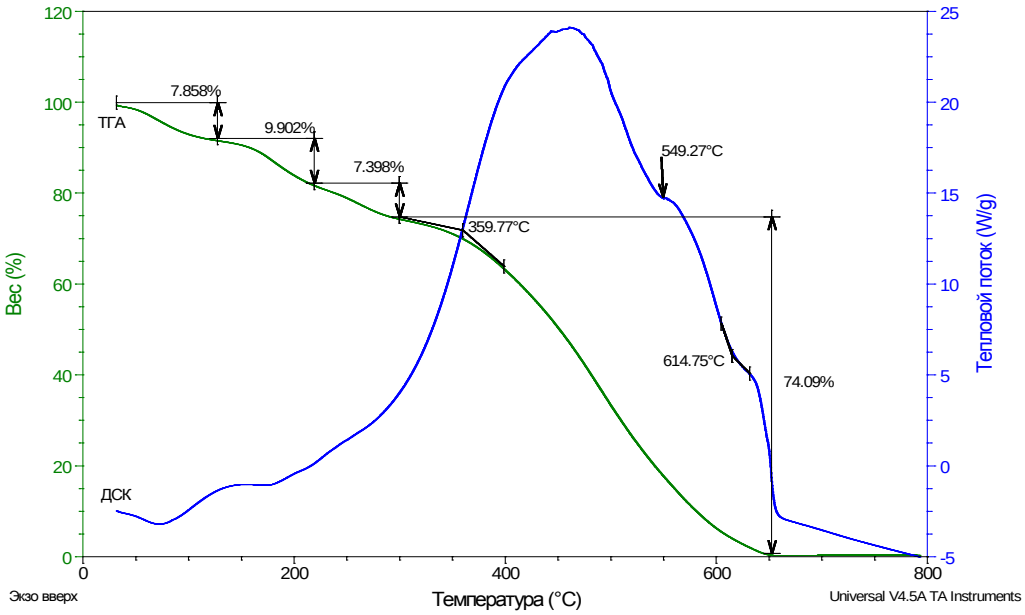


Рис. 4. Термограмма ПАНИ, полученного химическим методом

Выводы:

1) проведен термический анализ образцов полианилина, полученного химическим и электрохимическим способами;

2) было установлено, что образец ПАНИ, полученный химическим способом проявляет большую термическую стабильность, термодеструкция происходит при 549 °С;

3) полианилин проявляет высокую термическую стабильность, что расширяет диапазон его применения.

Библиографический список

1. Курбатов В.Г. Модификация полимерных эпоксидных покрытий полианилином: автореф. … канд. хим. наук. Ярославль, 2012. 24 с.

2. Ушакова Е.Е., Фадейкина И.Н. Влияние состава электролита на структуру полианилина при электрохимическом синтезе // Материалы 22-й научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. 16–28.03.15, г. Дубна. С. 89–91.

3. Фадейкина И.Н., Ламакина О.С. .Химический синтез полианилина в различных неорганических кислотах // Вестник Государственного университета «Дубна». 2016. № 2. С. 49–54.

4. Vivekanandan J., Ponnusamy V. Synthesis, characterization and conductivity study of polyaniline // Archives of Applied Science Research. 2011. Vol. 211, № 3 (6). P. 147–153.

5. Lucia H. Mascaro, Alessandra N. Berton. Electrochemical Synthesis of Polyaniline/Poly- O –Aminophenol Copolymersin Chloride Medium // SAGE-Hindawi Access to Research International Journal of Electrochemistry. 2011 Vol. 11, № 7. P. 2.

6. Milica M. Gvozdenović L. Electrochemical synthesis of electroconducting polymers // Electropolymerization. Publisher InTech, 2010. P. 82.

7. Roth S. One Dimentional Metals. Weinheim VCH, 1995. P. 380. ISBN 3−527−26875−8.

8. Sapurina I.Yu., Shishov M.A. Oxidative polymerization of aniline: molecular synthesis of polyaniline and the formation of supramolecular Structures // New Polymers for Special Applications. 2012. Vol. 740, № 7. P. 272.

Поступила в редакцию
14.04.2017

УДК 598.2: 470.311

А. А. Хромов, О. В. Хромушин, К. А. Любимова

Редкие охраняемые виды птиц городского округа Дубна и окрестностей в XXI веке

На основании наблюдений за птицами городского округа Дубна и ближайших окрестностей, проводимых нами с конца 1990-х гг., представлены сведения о редких охраняемых видах, занесённых в Красную книгу Московской области. Сведения приводятся в виде очерков, в которых указаны: статус вида для исследуемой территории, характер пребывания, основные местообитания, регулярность встреч, крайние даты регистрации и другие интересные факты. В конце очерков иногда приводятся исторические сведения о встречах видов в различные годы XX века.

Ключевые слова: птицы, редкие виды, Красная книга, Московская область.

Об авторах

Хромов Андрей Анатольевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и наук о Земле Государственного университета «Дубна», 141980 Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19. *E-mail: paleologovo@mail.ru.*

Хромушин Олег Валентинович – Союз охраны птиц России. *E-mail: mumuka4@gmail.com.*

Любимова Ксения Александровна – Союз охраны птиц России. *E-mail: klyubim66@gmail.com.*

В настоящей работе представлены результаты наблюдений за редкими охраняемыми видами птиц на территории городского округа Дубна и его ближайших окрестностей. В первую очередь это информация о современном статусе видов, об их местообитаниях, характере пребывания, численности, наиболее ранних и поздних датах встреч, а также о других фактах, если они несут новую, неизвестную ранее информацию. Видовые очерки составлены на основе наших наблюдений с конца 1990-х гг. до начала 2017 г. Некоторые данные основаны на сообщениях местных жителей, а также на материалах, опубликованных на городском форуме (http://dubna.net/forum) в разделе «Экология в Дубне» и на форуме Союза охраны птиц России (СОПР, официальный сайт – http://www.rbcu.ru/forum), о чём в тексте имеются соответствующие указания. Кроме этого, мы использовали разнообразные литературные данные, отчёты и рукописи. Некоторые сведения взяты из базы данных Программы «Птицы Москвы и Подмосковья» (БД ППМиП, сайт программы – http://www.birdsmoscow.net.ru) за 1996–2012 гг., которую нам любезно предоставили сотрудники научно-исследовательского зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова О.В. Волцит и М.В. Калякин, являющиеся координаторами этой Программы.

Целенаправленные исследования авифауны в целом или отдельных видов на территории городского округа Дубна и окрестностей ранее практически не проводились. Немногочисленными исключениями можно считать работы Н.Н. Третьякова, посвященные околоводными и водоплавающим птицам Иваньковского водохранилища [27] и отдельные наблюдения В.В. Леоновича [17]. Однако представленные в этих работах сведения о встреченных видах птиц относятся в основном к середине XX века.

Материал и методы

Под территорией исследований подразумевается участок Верхневолжской низменности в пределах современных административных границ городского округа Дубна. Город расположен на севере Московской области (56° 45′ с.ш., 37° 10′ в.д.) на двух берегах р. Волги. С юга территория ограничена рекой Сестрой и каналом

© Хромов А. А., Хромушин О. В., Любимова К. А., 2017

им. Москвы, с востока – рекой Дубной, с запада – Иваньковским водохранилищем. Округ граничит на юге и востоке с Талдомским районом Московской области, на севере и западе – с Кимрским и Конаковским районами Тверской области. Площадь округа составляет 7166 га. В настоящее время территория города представляет собой неоднородный комплекс местообитаний с разной степенью антропогенной нагрузки. Помимо городской застройки здесь представлены различные типы лесов, отдельные лесные массивы, естественные и искусственные водоёмы разного размера и протяженности, а также луга, которые в большинстве случаев являются участками первой надпойменной террасы. Многие местообитания за период наблюдений затронуты несущественно, некоторые претерпели значительные изменения в связи с городским благоустройством, а отдельные местообитания исчезли совсем.

Поскольку округ находится на берегу Иваньковского водохранилища (Московское море), было бы неправильно игнорировать влияние этого объекта на формирование городской авифауны. По этой причине в видовые очерки включены наблюдения в восточной части этого водоёма в радиусе до 6–7 км от городской черты. Несмотря на то, что этот участок водохранилища относится к Тверской области, сведения о встреченных здесь птицах обычно не попадают в фаунистические сводки по Тверскому региону.

Расположение и названия видов приведены по книге: Коблик Е.А., Редькин Я.А., Архипов В.Ю. Список птиц Российской Федерации [12]. В начале каждого видового очерка указан статус вида для исследуемой территории в XXI в., включающий категорию редкости и характер пребывания. Категории редкости указаны для каждого периода, в который вид был встречен: в гнездовой период, в период пролёта (если вид не гнездится или в этот период отмечается увеличение численности) и в зимний период. Мы использовали следующие категории редкости вида:

– нередкий вид – встречается, как правило, неежегодно в характерных для вида местообитаниях, при этом отмечается в небольшом количестве (несколько пар или групп особей) и не на каждом маршруте;

– редкий вид – встречается в районе исследований неежегодно на отдельных маршрутах, при этом отмечаются одиночные особи, небольшие группы или отдельные пары;

– очень редкий вид — встречается в районе исследований только в отдельные годы (обычно 1–3 встречи за весь период исследований), при этом, как правило, отмечаются одиночные особи или отдельные пары.

На основании характера пребывания каждому виду присвоена одна или несколько приведённых ниже категорий.

– Гнездящийся вид – встречается в течение всего весенне-летнего периода, при этом гнездование не вызывает сомнений. Основания для отнесения вида к данной категории могут быть такими: находка гнезда или выводка, целенаправленные перемещения птиц с кормом в период выкармливания птенцов, территориальное поведение и характерное для гнездящихся особей беспокойство. Если встречи вида в конкретных местообитаниях были неоднократными, но при этом мы не находим достаточных оснований считать вид гнездящимся, используются понятия «вероятно гнездящийся вид» или «возможно гнездящийся вид».

– Пролётный вид – встречается в весенний и (или) осенний период пролёта и кочёвок (для гнездящихся видов приводится только в том случае, если численность на пролёте заметно выше, чем в гнездовой период).

– Зимующий вид – встречается в зимний период (указан для всех видов, встреченных в зимние месяцы).

– Летующий вид – встречается в гнездовой период (июнь-июль), но отсутствуют сведения, указывающие на возможное гнездование, или в этот же период встречаются только не размножающиеся молодые (неполовозрелые) птицы.

– Залётный вид – не относится к четырем указанным выше категориям. Как правило, появление такого вида вызвано какими-то неординарными событиями, а область его обитания и пути пролета не являются смежными с районом исследований.

Далее в очерках приводятся сведения о местообитаниях и конкретных местах встреч с ука-

занием дат, когда были сделаны соответствующие наблюдения. Сведения о встречах приведены либо в хронологическом порядке (если общее количество встреч невелико), либо по отдельным местообитаниям.

Обычно мы не применяли специальных методов учета численности конкретных видов, поэтому после даты встречи указано количество особей (ос.), отмеченных с учетной точки или в конкретном местообитании. Если количество встреченных особей приводится со знаком «+» (например, «15+ ос.»), это означает, что точное количество птиц установить или определить до вида не удалось, но оно может отличаться в большую сторону (в том числе существенно) от приведенного значения. Сведения о самых ранних и самых поздних встречах вида приведены на основе наших наблюдений. В некоторых случаях указано: «характер пребывания не прослежен». При описании некоторых видов порядок изложения может отличаться от приведенной выше схемы из-за ограниченности сведений.

В некоторых очерках содержатся исторические сведения о встречах птиц в различные годы XX в., в том числе для периода 1920–1950-е гг., когда современная Дубна еще не была основана как город. Для некоторых видов также приводится информация о современном статусе и численности для всего севера Московской области.

Неопубликованные сведения авторов приводятся без ссылок за исключением ситуаций, где требуется отделить наши данные от данных других наблюдателей. В этих случаях в скобках помимо ссылок на источники указано «наши данные».

Всего в очерках представлены сведения о 40 видах птиц, занесённых в Красную книгу Московской области (ККМО), 9 из которых занесены также в Красную книгу Российской Федерации (ККРФ).

Результаты (видовые очерки)

Чернозобая гагара – *Gavia arctica* (Linnaeus, 1758); ***ККРФ***, ***ККМО.***

Очень редкий летующий и зимующий вид. 23.06.2016 г. на оз. Лебяжье встречены 2 ос. в зимнем наряде (предположительно первогодки). Там же птиц наблюдали 25 и 26.06.2016 г. Обе птицы кормились самостоятельно, вылавливая с поверхности мелкую рыбу. 01.01.2017 г. 2 ос. в зимнем наряде встречены на незамёрзшем участке р. Волги у ГЭС. Единственная известная до этого документированная встреча вида в северном Подмосковье состоялась в 1989 г. и относится к периоду осеннего пролёта [15; 17].

Малая выпь, или **волчок** – *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766); ***ККМО.***

Очень редкий, возможно гнездящийся вид. Самка или молодая птица встречена в северо-восточной части оз. Лебяжье 07 и 13.08.2016 г. Также имеются сведения о встрече самца 02.07.2014 г. без точных указаний о месте наблюдения (по сообщению и фотографиям на городском форуме). На сегодняшний день эти встречи являются единственными в г. Дубне. На севере Московской области вид впервые отмечен в 2012 г. [15].

Белый аист – *Ciconia ciconia* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий летующий вид. Одна особь встречена 21.05.2011 г. в районе Ратмино.

Серый гусь – *Anser anser* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий пролетный вид. Единственная встреча состоялась 08.04.2009 г.: 1 ос. наблюдали над р. Волгой. Встреченная особь определена на форуме СОПР по фотографиям.

Серая утка – *Anas strepera* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий, вероятно гнездящийся и пролетный вид. Единственная летняя встреча состоялась 19.06.2008 г. (7+ ос.) в одном из заливов Иваньковского водохранилища у о. Омутня (ближайшие окрестности г. Дубны). Возможно, этих же птиц наблюдали там же 04.09.2008 г. В период весеннего пролета птиц наблюдали примерно там же: 25.04.2009 г. (1 ос.) и 29.04.2011 г. (2 ос.). Мы предполагаем, что серая утка встречается на пролете более регулярно. Малое количество встреч можно объяснить несколькими причинами: немногочисленностью вида, трудностью в определении отдельных особей среди больших групп водоплавающих и отсутствием целенаправленных наблюдений.

Шилохвость – *Anas acuta* (Linnaeus, 1758); ***ККМО***.

Редкий пролетный вид. Встречен на весеннем пролете на Иваньковском водохранилище 11.04.2009 г. (стаи по 10–20 ос.), 25.04.2009 г. (несколько сотен ос. в стаях со свиязью) и 10.04.2016 г. (4–6 ос.) – в окр. Юркино на крупной луже, образовавшейся на пашне после схода снега. Таким образом, в черте города шилохвость встречается крайне редко, но мы предполагаем, что в период весеннего пролета вид достаточно регулярно встречается на водохранилище, которое мы посещали в это время неежегодно. Достаточно большое число птиц, встреченное весной 2009 г., мы связываем с высокой численностью вида в этот год на севере Московской области. В частности, на разливах р. Дубны близ Нушпол 18.04.2009 г. держалось более 2 тыс. уток, среди которых преобладала шилохвость [15].

В конце 1930-х – начале 1940-х гг. была обычна на гнездовании на Иваньковском водохранилище, где гнездилась на островах, лугах и болотах [27].

Скопа – *Pandion haliaetus* (Linnaeus, 1758); ***ККРФ***, ***ККМО.***

Очень редкий вид (характер пребывания не определен). Одиночных птиц неоднократно отмечали на Иваньковском водохранилище и на р. Волге (как на пролете, так и в гнездовой период). В 2007–2010 гг. гнездовая территория, вероятно, существовала на водохранилище в районе 6–8 км к северу от г. Дубны, в районе о. Омутня (Кимрский р-н Тверской обл.). Охотящихся птиц здесь и поблизости встречали: 06.07.2007 г.; 20.04, 18.06, 26.06 и 05.09.2008 г.; 08, 11, 25.04 и 07.06.2009 г.; 22.07.2010 г. Одиночные птицы также отмечены 17.08.2013 г. в г. Дубне без точных указаний о месте встречи (по сообщению и фотографиям на городском форуме) и 20.07.2007 г. над р. Волгой между г. Дубной и устьем р. Медведицы (Тверская обл.). Самая ранняя встреча – 08.04.2009 г., самая поздняя – 05.09.2008 г. В настоящее время предполагаемая общая численность скопы на севере Московской области оценивается в 3–4 пары [15].

Обыкновенный осоед – *Pernis apivorus* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Редкий гнездящийся и пролетный вид. В гнездовой период одиночные особи встречены у о. Зеленый на Иваньковском водохранилище (примерно в 1,5–2 км к северо-западу от границы городского округа): 09 и 24.06.2007 г.; 26.05, 08.06 и 28.07.2009 г.; 23.07.2010 г. Некоторые птицы перемещались между островом и левобережной частью города. Молодую птицу и двух взрослых наблюдали здесь же в конце первой – в начале второй декады июля 2010 г. Вероятно, в указанные выше годы здесь существовал гнездовой участок. Также 2 ос. (возможно, пара птиц) встречены 21.06.2012 г. у р. Сестры в окрестностях д. Карманово [Евтух Ю.Г., по: БД ППМиП]. Одиночную особь наблюдали 26.08.2016 г. над р-ном города Большая Волга (птица летела на юго-запад).

Чёрный коршун – *Milvus migran*s (Boddaert, 1783); ***ККМО.***

Редкий гнездящийся, нередкий летующий и пролетный вид. В гнездовой период встречается у крупных водоемов: Иваньковское водохранилище, реки Волга, Дубна и Сестра. В 2007–2008 гг. пара птиц гнездилась на о. Зеленый (Иваньковское водохранилище, примерно в 1,5–2 км к северо-западу от границы городского округа). На этом гнездовом участке птиц встречали 06 и 24.06.2007 г., а 28.07.2007 г. здесь было найдено гнездо с тремя оперенными птенцами. Гнездо располагалось на сосне, на высоте около 10 метров. В этом же гнезде в 2008 г. поселилась пара чеглоков, а коршуны, видимо, обитали где-то неподалеку. Так, 20 и 23.04.2008 г. пару птиц встречали в этом же районе и отмечали до 13.07.2008 г. Здесь же встречали одиночных птиц с 25.04 до 31.05.2009 г. и 23.07.2010 г. Также 13.06.2016 г. 1 ос. встречена у шлюзов Иваньковской ГЭС. Достаточно регулярно одиночных птиц встречали в долине р. Сестры (от Юркино до Карманово): 23.06.2001 г., 22.06.2003 г., 24.06.2004 г., 23.06.2007 г., 26.04.2008 г., 19.07.2012 г. 02.07.2013 г. [Евтух Ю.Г., по: БД ППМиП; данные авторов]. Мы предполагаем, что в некоторые годы здесь также гнездились отдельные пары. Помимо наблюдений непосредственно в пределах городского округа проведены учеты с использованием автомобиля по маршруту вдоль р. Волги: от г. Дубны до устья р. Медведицы (Тверская обл.). На этом участке, протяженностью 40–42 км, встречено: 20.07.2007 г. – 8 ос. и 09.08.2015 г. – 5 ос. В период кочевок и миграций одиночные птицы

встречаются в тех же местах. Весенние встречи: 11.04.2015 г. (2 ос.) – в пойме р. Сестры, 17.04.2015 г. – на правобережном полигоне ТБО, 08.04.2016 – над р. Волгой, 06.05.2016 г. – в левобережной пойме р. Волги, 19.05.2016 г. – в окр. Ратмино. Осенние встречи: 06.09.2007 г. – на р. Сестре, 06.08.2008 г. (2 ос.) – над жилыми районами города, 01.08.2008 г. – в левобережной пойме р. Волги. Скоплений птиц на кормежке и на пролете не отмечено. Самая ранняя встреча – 08.04.2016 г., самая поздняя – 06.09.2007 г.

Полевой лунь – *Circus cyaneus* (Linnaeus, 1766); ***ККМО.***

Очень редкий гнездящийся, редкий летующий и пролетный вид. В гнездовой период нерегулярно встречался на полях, лугах и иных открытых участках: 06.07.2001 г. (самец) – в правобережной пойме р. Волги у Ратмино; 03.06.2001 г. (самец) – в пойме р. Дубны в окр. Юркино; 18.06.2007 г. (молодая ос.) – в пойме р. Сестры; 31.05.2009 г. (самец) – в левобережной пойме р. Волги [данные авторов, 18]. Встречался также на обширных, заросших тростником, участках Иваньковского водохранилища: 24.06.2007 г. (самец) и 04.05.2009 г. (самка). В период пролета и кочевок встречается в тех же местообитаниях. Весной отмечены одиночные самцы: 28.03.2010 г., 11.04.2009 г., 11.04.2015 г. Осенью также встречены одиночные взрослые и молодые особи: 22–28.09.2007 г., 05 и 28.09.2008 г. и 27.11.2010 г. Самая ранняя встреча – 28.03.2010 г.; самая поздняя – 27.11.2010 г.

Степной лунь – *Circus macrourus* (S.G. Gmelin, 1771); ***ККРФ, ККМО.***

Очень редкий залетный вид. Единственная встреча произошла в левобережной части города на границе с Кимрским р-ном Тверской обл. 26.05.2007 г. Встреченная особь определена по фотографиям на форуме СОПР как самка степного луня. Впервые на севере Московской области вид встречен в 1990 г., а в последующем нерегулярно гнездился и встречался на пролете [2; 3; 6; 15; 25].

Луговой лунь – *Circus pygargus* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Редкий летующий и пролетный вид. На гнездовании не отмечен. Все известные в настоящее время встречи относятся к послегнездовому периоду кочевок и миграций (август-сентябрь). Одиночные птицы встречены в правобережной и левобережной поймах р. Волги: 15.08.2007 г. (самец) – в Ратмино, 24.09.2008 г. (самка или молодая ос.) – там же, 01 и 03.08.2008 г. (самец) – в левобережье, 18.08.2014 г. (самец) – в Ратмино, 12.09.2016 г. (самец) – там же. Весенний пролет не прослежен; самая поздняя встреча – 24.09.2008 г. Отмечено, что в конце XX в. и до начала 2000-х гг. луговой лунь встречался на севере Московской области значительно реже полевого луня, но численность вида в 1990–2000-е гг. заметно выросла [1; 2; 15; 16; 22; 32].

Малый подорлик – *Aquila pomarina* (C.L. Brehm, 1831); ***ККРФ, ККМО.***

Очень редкий пролетный вид. Единственная известная встреча состоялась 19.04.2010 г. в окрестностях г. Дубны – отмечено 2 ос. [А.Е. Варламов, М.П. Коновалов, А.Л. Мищенко, по: [20]. Распространение малого подорлика на севере Московской области в настоящее время практически не изучено [15]. Во многом это связано с тем, что вид очень трудно отличить в полевых условиях от большого подорлика. Еще одна встреча подорлика, условно определенного как *Aquila cf. clanga/pomarina*, состоялась над Иваньковским водохранилищем 18.09.2001 г.

Орлан-белохвост – *Haliaeetus albicilla* (Linnaeus, 1758); ***ККРФ, ККМО.***

Очень редкий, вероятно гнездящийся, пролетный и зимующий вид. В гнездовой период встречается в окрестностях города на Иваньковском водохранилище, где, по-видимому, иногда гнездится пара птиц. Некоторых особей наблюдали также в черте города. В летний период орлан-белохвост был впервые встречен на Иваньковском водохранилище 23.07.2010 г. (1 молодая ос.); с 30.08 до 04.09.2014 г. 1 молодая ос. держалась непосредственно в городе (на левом берегу Волги) в р-не ул. Ленина (по сообщению А. Цветковой на форуме СОПР); 24.05.2015 г. встречена 1 взрослая ос., которая охотилась на р. Волге у шлюзов Иваньковской ГЭС [31]. В весенний период пролета и кочевок одиночные особи отмечены в тех же местообитаниях (на Иваньковском водохранилище и на р. Волге ниже ГЭС). Одиночных орланов встречали: 04 и 25.04.2009 г., 16.04.2011 г., в марте-апреле 2013

г. (по сообщению местных жителей), 12.04.2015 г. Осенью иногда бывает выражен пролет. В частности, на Иваньковском водохранилище 25.10.2007 г. встречено 3 ос., в том числе раненая или нездоровая молодая птица, которая была подобрана на островах, но, к сожалению, погибла; а 26.10.2007 г. там же встречено 6 ос. (4 из них направлялись на юго-восток, а две птицы встречены на присадах в тех же местах, что и 25.10.2007 г.). Здесь же отмечали одиночных птиц: 04.09.2008 г., 09.10.2008 г., 18-20.10.2009 г. (молодая ос. у ГЭС) и 28.11.2010 г. Начиная с 2005 г. 1–2 ос. регулярно держатся на незамерзающем участке реки р. Волги (нередко в течение всего снежного периода) и иногда здесь же ночуют. При этом птицы могут перемещаться вдоль всего незамерзшего участка реки, который обычно составляет около 10 км (от Иваньковской ГЭС до устья р. Дубны). Поздней осенью, зимой и ранней весной одиночных птиц встречали: 16.01.2005 г., 18.02.2007 г., 23 и 24.11.2007 г. (1 и 2 ос.), 04 и 18.01.2008 г., 28.12.2008 г., 08.01.2009 г., 07, 08 и 22.02.2009 г., 22.03.2009 г., 02 и 17.01.2010 г., 20.02.2010 г., 12.12.2010 г., 16.01.2011 г., 01.03.2011 г., 03.01.2013 г. (2 ос. – взрослая и молодая), 02.02.2013 г. (2 ос.), в январе-феврале 2014 г. (по сообщению местных жителей), 08.01.2015 г., 28 и 31.01.2016 г., 07.02.2016 г., 24 и 25.12.2016 г. (2 ос.), 01, 11 и 19.01.2017 г. 04.02.2017 г., 16.02.2017 г. (2 ос.) [данные авторов; 15; 31; И.И. Уколов, Е.Ю. Чекулаева, Д.Э. Вурман, О.В. Хромушин по: [11]; Г.С. Еремкин и др. по: [21]; личное сообщение Д.В. Недашковского]. Также 27.02.2014 г. 2 ос. были встречены в Александровке (на некотором удалении от открытых водоемов). Таким образом, орлан-белохвост в районе исследований встречается во все сезоны года, однако за исключением периода осеннего пролета удавалось наблюдать не более двух особей одновременно. В связи с этим мы предполагаем, что в ближайших окрестностях города (предположительно на Иваньковском водохранилище) постоянно обитает 1–2 особи или пара птиц. В северном Подмосковье до начала XXI в. орлан-белохвост практически не встречался. Со второй половины 2000-х гг. и начала 2010-х гг. количество встреч этого вида выросло [15].

Дербник – *Falco columbarius* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий летующий и пролетный вид. За весь период наблюдений одиночные особи встречены трижды: 10.05.2009 г. (самец) – у Ратминского бора; 18.05.2014 г. – на набережной р. Волги и 09.07.2016 г. – в Александровке на территории университетского кампуса.

Серый журавль – *Grus grus* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Редкий вероятно гнездящийся, нередкий пролетный вид. В гнездовой период перемещающихся одиночных особей и отдельные пары птиц встречали: 12.07.2008 г. и 26.05.2009 г. (по 1 ос.) – на Иваньковском водохранилище; 27.06.2013 г. (1 ос.) – в Александровке; 19 и 21.06.2012 г. (пара) – в окрестностях Карманово; 14.06.2013 г. (унисонные крики) – в левобережной части города [Г.Ю. Евтух и Е.Д. Калинин, по: БД ППМиП; личное сообщение Д.В. Недашковского; данные авторов]. Мы предполагаем, что 1–2 пары нерегулярно гнездятся в ближайших окрестностях города. Весной также встречается парами и небольшими группами: 29.04.2001 г. (несколько ос.) – над городом; 11.04.2009 г. (3 ос.) – над Иваньковским водохранилищем; 17.04.2013 г. (2 ос.) – над Александровкой [данные авторов; 18]. Осенью встречаются стаи, перемещающиеся в южном и юго-восточном направлениях: 05.10.2001 г. – 120–130 ос., 07.10.2001 г. – 3 стаи по 35–45 ос., 22.09.2008 г. – около 100–150 ос., 18.09.2011 г. – 50 ос., 30.09.2013 г. – около 50 ос. Самая ранняя встреча 11.04.2009 г., самая поздняя – 07.10.2001 г. Кроме этого, о встречах отдельных стай в сентябре практически ежегодно сообщают местные жители. В настоящее время на севере Московской области численность серого журавля оценивается в 71–85 гнездящихся пар, при этом плотность населения оценивается в 1 пару на 3–4 км^2 [15].

Водяной пастушок – *Rallus aquaticus* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий гнездящийся вид. Гнездится на Иваньковском водохранилище в окрестностях города. Территориальные птицы с характерным гнездовым поведением встречены: 18–20.06.2008 г. – 1 ос., 12 и 26.07.2008 г. – до трех ос., летом 2010 г. – 1 ос. 06–07.06.2009 г. – 1 ос.,

27.05.2012 г. – 1–3 ос. На севере Московской области до конца 2000-х гг. вид не встречался [15].

Малый погоныш – *Porzana parva* (Scopoli, 1769); ***ККМО.***

Очень редкий гнездящийся вид. Отмечен 26.05.2012 г. в двух местах в тростниковых зарослях прибрежной части Иваньковского водохранилища. Обе встреченные особи оказались самками и откликались на проигрывание записей криков самцов. То есть территориальные пары, по-видимому, еще не были сформированы или попытки гнездования до этого времени были неудачными. Встречался в районе исследований в 1950-е гг.: 16.06.1951 г. пара птиц и токующий самец встречены в окрестностях пос. Большая Волга [17]. Предположительно в 2000-е гг. численность этого вида на севере Московской области увеличилась [15].

Кулик-сорока – *Haematopus ostralegus* (Linnaeus, 1758); ***ККРФ***, ***ККМО.***

Очень редкий летующий и пролетный вид. Весной одиночные особи и небольшие группы встречены на берегу р. Волги: 08.04.2009 г. – 1 ос., 11.04.2009 г. – 8-12 ос., 16.04.2011 г. – 4 ос., 17.04.2011 г. – 1 ос. Единственная летняя встреча состоялась 30.06.2012 г. – встречено 2 ос. В 1940-х гг. гнездился на островах Иваньковского водохранилища [27]. С 2011 г. отмечены случаи гнездования отдельных пар на севере Московской области на пашнях [23; 26].

Большой улит – *Tringa nebularia* (Gunnerus, 1767); ***ККМО.***

Очень редкий летующий и пролетный вид. Встречается крайне редко: 1–2 ос. отмечены 04.05.2009 г. на Иваньковском водохранилище; одиночная ос. встречена 30.06.2013 г. в левобережной пойме р. Волги на затопленном участке, образовавшемся после весеннего паводка. В 1940-х гг. на территории Иваньковского водохранилища и ближайших окрестностей упоминается как редкий на гнездовании и регулярный пролетный вид [27].

Травник – *Tringa totanus* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Редкий гнездящийся и пролетный вид. Встречается в районе исследований с 2008 г., но в очень ограниченном количестве местообитаний. В небольшом числе (1–3 пары) гнездится на увлажненном лугу в левобережной пойме р. Волги. Территориальные пары птиц здесь встречены: 12–13.06.2008 г. – 2–3 пары, 18.05.2009 г. – 2 пары, 19.05.2010 г. – 1–2 пары, 04.05.2011 г. – 2 пары, 03.05 и 30.06.2013 г. – 1 пара, 12 и 20.05.2015 г. – 1 пара. В 2013 г. 3 пары также гнездились в районе Ратмино во влажной низине, где весной после интенсивного сброса воды на Иваньковской ГЭС образовался затопленный участок. Беспокоящихся птиц здесь встречали с 23.05 по 15.06.2013 г. В настоящее время площадь открытых луговых сообществ, пригодных для местообитания этого вида, стремительно сокращается. В первую очередь это связано со строительством в левобережной пойме р. Волги нового района города. На весеннем пролете отмечается с первой декады апреля в этих же местообитаниях, вдоль берега р. Волги и на отдельных участках в окрестностях Юркино (на разливах р. Сестры, на лужах, на влажных лугах). Обычно встречаются небольшие группы птиц: 05 и 09.05.2008 г. – 8–9 ос., 08.04.2009 г. – 4 ос., 11.04.2009 г. – 8–12 ос., 02.04.2011 г. – 2 ос., 18.04.2011 г. – 5 ос., 14–15.04.2012 г. – 2 ос., 10.04.2016 г. – 8 ос. Наиболее ранняя встреча – 02.04.2011 г. Наиболее поздняя встреча на местах гнездования – 30.06.2013 г. Осенний пролет не прослежен. Предполагается, что до середины XX в. травник на севере Московской области не встречался, а в настоящее время численность вида здесь оценивается в 20–30 пар [15; 24].

Поручейник – *Tringa stagnatilis* (Bechstein, 1803); ***ККМО.***

Очень редкий гнездящийся вид. За весь период исследования вид встречен только в 2013 г. В частности, 2 пары гнездились в районе Ратмино во влажной низине, где весной после интенсивного сброса воды на Иваньковской ГЭС образовался затопленный участок. Беспокоящихся птиц здесь наблюдали 07–15.06.2013 г. Еще одна ос. встречена 12.07.2013 г. в левобережной пойме р. Волги на затопленном участке, образовавшемся аналогичным образом.

Турухтан – *Philomachus pugnax* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий летующий и пролетный вид. За весь период исследования отмечен только в 2013 г. В частности, 12.07.2013 г. 1 ос. встречена в левобережной пойме р. Волги на затопленном

участке, образовавшемся весной после интенсивного сброса воды на Иваньковской ГЭС. По всей видимости, здесь же 19.05.2013 г. была встречена небольшая группа (11+ ос.) кочующих птиц (по сообщению и фотографиям на городском форуме). В 1940-е гг. в небольшом количестве гнездился на Иваньковском водохранилище. [27]. Предполагается, именно создание водохранилища способствовало появлению вида на севере московского региона [15].

Большой кроншнеп – *Numenius arquata* (Linnaeus, 1758); ***ККРФ***, ***ККМО.***

Очень редкий летующий и пролетный вид. 04.07.2001 г. 2 ос. встречены на лугах в окрестностях Ратмино. 20.04.2008 г. также 2 ос. встречены над Иваньковским водохранилищем.

Большой веретенник – *Limosa limosa* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий летующий и пролетный вид. На гнездовании не отмечен. В гнездовой период 07.06.2013 г. 4 ос. встречены в районе Ратмино на лугу во влажной низине, где весной после интенсивного сброса воды на Иваньковской ГЭС образовался затопленный участок. Однако признаков территориального поведения птицы не проявляли. Лётные молодые птицы (2 ос.) и 1 ос. в сером оперении встречены 12.07.2013 г. в левобережной пойме р. Волги на затопленном участке, образовавшемся аналогичным образом. 2 ос. встречены 23.07.2012 г. на р. Волге. Также в окрестностях Ратмино 19.05.2016 г. встречены 4 ос. (возможно, кочующие или пролетные), направлявшиеся на юго-запад. В 1940-е гг. гнездился на Иваньковском водохранилище [27]. Предполагается, именно создание водохранилища способствовало появлению вида на севере московского региона [15]. В настоящее время на севере Московской области численность вида оценивается в 55–65 пар [26].

Малая чайка – *Larus minutus* (Pallas, 1776); ***ККМО.***

Редкий летующий или пролетный, очень редкий зимующий вид. В гнездовой период вид не отмечен. В постгнездовой период на Иваньковском водохранилище у ГЭС 22.08.2011 г. встречена группа около 20 особей. Две другие встречи произошли в зимний период на незамерзающем участке р. Волги. С 20.12.2008 г. до 22.02.2009 г. здесь держалась 1 молодая птица [К.А. Любимова, О.В. Хромушин, И.И. Уколов, Е.Ю. Чекулаева, Д.Э. Вурман, по: 11]. Возможно, эту же особь встречали также 04 и 25.04.2009 г. Здесь же 1 молодая птица встречена 27.02.2011 г.

Белокрылая крачка – *Chlidonias leucopterus* (Temminck, 1815); ***ККМО.***

Очень редкий летующий вид. Единственная достоверная встреча одиночной птицы состоялась 29.06.2010 г. на Иваньковском водохранилище у о. Зеленый.

Сплюшка – *Otus scops* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий, возможно гнездящийся вид. Токующая птица отмечена 23.05.2013 г. в окрестностях Ратмино (кричала, вероятно, из лесного массива на левом берегу р. Волги). По неподтвержденным данным, характерный крик слышали также 24.08.2014 г. в лесу у с/т «Весна» (по сообщению и фотографиям на городском форуме).

Длиннохвостая неясыть – *Strix uralensis* (Pallas, 1771; ***ККМО.***

Редкий зимующий вид. Известно несколько зимних встреч одиночных особей: 07.02.2009 г. – в лесу на Большой Волге у мемориального комплекса «братские могилы» [Д.Э. Вурман, И.И. Уколов, Е.Ю. Чекулаева, О.В. Хромушин, по: 11]; 10–11.01.2013 г. – в городских кварталах р-на Левобережье, где птица ночевала на балконе пятиэтажного дома и, судя по перьям, питалась галками; в январе-марте 2013 г. – также в Левобережье наблюдали, возможно, эту же особь (по сообщению и фотографиям на городском форуме); 21.09.2016 г. в СМИ «Вести Дубны» также появилась информация о встрече длиннохвостой неясыти в Левобережье. Все описанные выше встречи сопровождаются фотографиями птиц, поэтому могут считаться подтвержденными. В гнездовой период вид не отмечен, несмотря на то, что расположенные в черте города и окрестностях зрелые леса в целом соответствуют его естественным местообитаниям, а по современным оценкам, численность длиннохвостой неясыти в Московской области в 1980–1990-е гг. увеличилась [4; 5; 7; 13].

Обыкновенный зимородок – *Alcedo atthis* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий, возможно гнездящийся вид. В гнездовой период одиночные птицы встречены: 22.05.2004 г. на р. Сестре, 02.06.1998 г. – у моста через р. Дубну, 03.05.99 г. – там же. В период осеннего пролета 1 ос. встречена 18.09.2001 г. на Иваньковском водохранилище [18]. Ранее (в 1980-е гг.) в окрестностях города был немногочисленным видом, встречающимся на р. Дубне [8; 15]. Сроки пребывания не прослежены. Наиболее ранняя встреча – 03.05.99 г., наиболее поздняя – 18.09.2001 г.

Удод – *Upupa epops* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий, вероятно гнездящийся вид. Одиночных особей за период наблюдений встречали трижды в левобережной пойме р. Волги. Первая встреча произошла в июне 2003 г. на заболоченном участке поймы (ныне частично застроенном). Две другие встречи произошли в районе частного сектора, рядом с устьем южной канавы и ФОК «Радуга»: 12 и 16.06.2008 г. [данные авторов] и в июне 2010 г. (по сообщению и фотографиям на городском форуме). Все три встречи относятся, по всей видимости, к одному месту. Мы предполагаем, что встреченные птицы здесь гнездились или предпринимали попытки гнездования. Сроки пребывания не прослежены. В 1980-х гг. удода также встречали на дамбе Иваньковского водохранилища у лодочных гаражей (северная часть дамбы).

Зелёный дятел – *Picus viridis* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Редкий гнездящийся и зимующий вид. В гнездовой период встречается в смешанных лесных массивах и лесополосах. У оз. Лебяжье 04.07.2001 г. в небольшом ольхово-березовом массиве встречен выводок, там же птиц встречали в июне 2006 г. Несколько раз одиночные особи были встречены в 2003 г. в разных местах и в разные сроки. Кроме этого, пара птиц встречена 25 и 28.04.2009 г. в подтопленном ольшанике, между дамбой Иваньковского водохранилища и садовыми участками. Самка была определена как возможный гибрид *P. viridis* и *P. canus*. Отметим, что случаи образования смешанных пар и гибридизации этих видов в Московской области не единичны. Взаимодействию популяций этих двух вдов посвящены отдельные научные исследования [29; 30]. Вне гнездового сезона одиночных птиц встречали: 24.02.2004 г. – в лесу у приборного завода «Тензор»; в сентябре 2005 г. – в окр. оз. Лебяжье; 18.03.2006 г. – на лесной кормушке (р-н Черная речка) и 27.10.2007 г. – на садовых участках в Левобережье.

Седой дятел – *Picus canus* (J.F. Gmelin, 1788); ***ККМО.***

Нередкий гнездящийся и зимующий вид. В гнездовой период отмечен в лесах разного типа и в отдельных лесных массивах. Встречен: 25.04.2008 г., 26 и 28.05.2009 г. – в районе о. Зеленый на Иваньковском водохранилище; 05.06.2006 – в левобережной части горда у берега р. Волги; 07.06.2006 – в лесу у мемориального комплекса «братские могилы» (р-н Большая Волга); 10.06.2009 г. – там же; 23.06.2016 г. – в окрестностях оз. Лебяжье (в лесном массиве из лиственных пород); 06.05.2016 г. – в левобережной пойме р. Волги. Кроме этого, пара птиц и еще 1 ос., определенная как возможный гибрид *P. viridis* и *P. canus*, встречены 25–28.04.2009 г. в подтопленном преимущественно ольховом лесу, между дамбой Иваньковского водохранилища и садовыми участками (см. также «Зеленый дятел»). Вне гнездового периода встречается поодиночке в разнообразных местообитаниях, в том числе на границах леса и городской застройки, на садовых участках и у кормушек в городских кварталах. Птиц встречали: 05.09.2007 г. и в январе 2017 г. – в лесу на Черной речке, 15.11.2007 г., 15–18.01.2008 г. и в ноябре 2009 г. – на садовых участках в Левобережье, 11.09.2009 г. – в лесу у с/т «Весна», 31.10.2016 г.– в лесополосе вдоль правого берега р. Волги (р-н Большая Волга), 21.02.2013 г. и 31.10.2016 г. – в левобережной пойме р. Волги; 28.11.2010 г. – у о. Зеленый на Иваньковском водохранилище. В последние годы регулярны весенние встречи одиночных птиц в Александровке на территории университетского кампуса: 24.03.2014 г., 03.03.2015 г., 25.02.2016 г., 18–24.03.2016 г. В 1983–1989 гг. регулярно гнездился в пойменных лесах р. Сестры с летней плотностью 5,5–6,0 ос./км^2 [28].

Белоспинный дятел – *Dendrocopos leucotos* (Bechstein, 1803); ***ККМО.***

Нередкий гнездящийся и зимующий вид. В гнездовой период несколько раз встречен в лесных местообитаниях: летом 2009 г. – на Черной речке, 21.05.2010 г. – в Александровке, 20.07.2013 г. – в Левобережье. Вне гнездового периода вид отмечен в лесах, отдельных лесных массивах, у садовых участков и в некоторых других местообитаниях. По сравнению с близкими видами (большой и малый пестрые дятлы) белоспинный дятел встречается существенно реже. Отдельные встречи произошли: 01.12.2001 г. – в лесном массиве у оз. Лебяжье, 17.01.2008 г. и 27.02.2011 г. – на левом берегу р. Волги (у ГЭС) в посадках боярышника, 21.02.2008 г. (пара) – в лесу у мемориала «братские могилы», а также 29.03.2003 г. и 19.03.2011 г. – в лесных участках правобережной части города.

Трёхпалый дятел – *Picoides tridactylus* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Редкий зимующий вид. В гнездовой период не встречен. Одиночных птиц встречали в зрелых сосновых и смешанных лесах: 04.02.2002 г. – в Козлаковском лесу, 07.11.2003 г. – в Ратминском бору, 05.11.2006 г. 26.02.2009 г. и 26.01.2013 г. – в р-не Черная речка.

Серый сорокопут – *Lanius excubitor* (Linnaeus, 1758); ***ККРФ, ККМО.***

Редкий пролетный, возможно зимующий вид. Встречается на весеннем пролете. Одиночная особь отмечена 11.03.2008 г. в пойме р. Сестры. С 19.01 до 15.03.2011 г. также одиночную особь (возможно, одну и ту же) несколько раз наблюдали в жилом квартале р-на Большая Волга.

Кедровка – *Nucifraga caryocatactes* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Нередкий пролетный, возможно зимующий вид. Отмечен в период осенних миграций и кочевок. Пик пролета приходится в основном на сентябрь, но в некоторые годы может продолжаться до декабря-января. Встречается как в типичных для вида лесных местообитаниях, так и в других местах, в частности по опушкам, вдоль садовых участков и в городских кварталах. Перемещения птиц происходят в основном в южном направлении, но иногда носят и ненаправленный характер. Первая достоверная встреча кедровки произошла 17.09.1997 г. Впоследствии вид не отмечали до 2013 г., что можно объяснить нерегулярностью наблюдений в осенний период. В последние годы встречи в городе (в основном в Институтской части и в Александровке) достаточно регулярны: 17.11.2013 г. – 1 ос., 09.12.2013 г. – 2 ос., 24.12.2013 г. – 1 ос., 08.01.2014 г. – 1 ос., 26.08.2016 г. – 2 ос., 02.09.2016 г. – 2 ос. за 10 мин наблюдения, 11–13.09.2016 – по 1–2 ос. ежедневно, 18–22.09.2016 – по 2–3 ос. за 10 мин наблюдения. Встречи одиночных кедровок зимой 2013/2014 года, скорее всего, связаны с затянувшимися миграциями из-за теплой осени и начала зимы. Наиболее ранняя встреча в период миграций – 26.08.2016 г., наиболее поздняя – 08.01.2014 г.

Ястребиная славка – *Sylvia nisoria* (Bechstein, 1795); ***ККМО.***

Очень редкий гнездящийся вид. В пределах города вид встречен в единственном местообитании – в левобережной пойме р. Волги в ивовом кустарнике вдоль одной из дренажных канав. 12–17.06.2011 г. здесь обнаружено 3 пары птиц. Судя по поведению встреченных самцов и самок вылупления птенцов еще не произошло. Несмотря на проведенные в 2007–2009 гг. целенаправленные поиски этого вида в различных местообитаниях (с проигрыванием аудиозаписей голоса птицы), на территории города ястребиные славки нигде более не были обнаружены. Еще одна птица встречена 02.06.2007 г. немного севернее в сходном местообитании (небольшой овраг, заросший кустарником). Однако эта встреча произошла уже на территории Кимрского р-на Тверской обл. Обнаруженные местообитания, представляющие собой густой кустарник в сочетании с высокотравьем, являются, судя по всему, наиболее типичными для вида [14; 15].

Обыкновенный ремез – *Remiz pendulinus* (Linnaeus, 1758); ***ККМО.***

Очень редкий гнездящийся вид. Гнездился в 2013 г. в левобережной пойме р. Волги в ивняках, окружающих небольшое озеро (в феврале 2014 г. найдено прошлогоднее гнездо на березе на высоте 6–7 м). В период весеннего пролета 1 ос. встречена 23.04.2001 г. у оз. Большое Лебяжье [18]. На севере Московской области до 1990-х гг. ремез был крайне редок [9; 19]. В 2000-е и начале 2010-х гг. его численность, вероятно, выросла [15].

Белая лазоревка, или **князёк** – *Parus cyanus* (Pallas, 1770); ***ККРФ, ККМО.***

Редкий гнездящийся и зимующий вид. Гнездится на Иваньковском водохранилище у о. Зеленый (примерно в 1,5–2 км к северо-западу от границы городского округа). Впервые вид здесь был встречен 05.06.2007 г. (1 ос.). Здесь же 24.06.2007 г. встречена пара птиц и 4 слётка, которых взрослые птицы кормили пауками, собранными на метёлках прошлогоднего тростника. Здесь же 06.07.2007 г. встречена стайка (около 15 ос.), состоявшая в основном из молодых птиц, которая перемещалась между лесом и тростниковым займищем. В этом же местообитании: зимой 2008 г. – не встречен, 17.03.2008 г. – 1 ос., летом 2008 г. – не встречен, 05.09.2008 г. – стайка (4+ ос.). Возможно, 1–2 пары князьков гнездятся здесь регулярно, но целенаправленных ежегодных учетов мы не проводили. Несмотря на то, что зимой вид встречается преимущественно в тех же местах, где гнездится [15], несколько раз одиночную особь отмечали в городе на оконной кормушке (р-н Большая Волга): 17 и 20.02.2008 г., 04.03.2008 г. и в ноябре 2009 г. Общая численность вида на севере Московской области с учетом возможных не найденных мест гнездования оценивается приблизительно в 30–40 пар [15].

Библиографический список

1. Блохин Ю.Ю. Встречи редких птиц в Подмосковье // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России. М.: Изд-во КМК, 2008. С. 95–100.
2. Блохин Ю.Ю., Руденко Ф.А., Блохин А.Ю. Редкие и интересные птицы Подмосковья на территории Шаховского и Сергиево-Посадского районов // Орнитология. 1998. Т. 28. С. 220–221.
3. Волков С.В. Гнездование степного луня в северном Подмосковье // Орнитология. 2013. Т. 38. С. 116–118.
4. Волков С.В. Гринченко О.С., Конторщиков В.В., Свиридова Т.В., Смирнова Е.В. Новые данные по распространению и численности некоторых редких видов птиц в Московской и сопредельных областях // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России. М., 1998. С. 55–59.
5. Волков С.В., Гринченко О.С., Свиридова Т.В., Смирнова Е.В., Коновалова Т.В. Современное распределение и численность болотной совы, бородатой и длиннохвостой неясытей // Орнитология. 1998. Т. 28. С. 92–99.
6. Волков С.В., Конторщиков В.В., Гринченко О.С., Свиридова Т.В., Макаров А.В., Шариков А.В., Иванов М.Н. Современное состояние и тенденции изменения численности и распространения некоторых редких видов птиц Дубненско-Яхромской низины: неворобьиные // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России. М.: Изд-во КМК, 2009. С. 86–91.
7. Волков С.В., Шариков А.В., Иванов М.Н., Свиридова Т.В., Гринченко О.С. Распределение и численность совообразных в Московской области // Совы Северной Евразии. М., 2005. С. 163–186.
8. Гарушянц К.Ю., Морозов В.В., Мищенко А.Л. Новые данные о встречах и гнездовании редких птиц Подмосковья // Орнитология. 1990. Т. 24. С. 144–145.
9. Зубакин В.А. Обыкновенный ремез // Красная книга Московской области; отв. ред. В.А. Зубакин, В.Н. Тихомиров. М., 1998. С. 74–75.
10. Интересные встречи. Март – сентябрь 2009 г. / сост. Х.Г. Куркамп // Московка. Новости программы «Птицы Москвы и Подмосковья». М., 2009. № 10. С. 41–47.
11. Интересные встречи. Сентябрь 2008 г. – март 2009 г. / сост. Х.Г. Куркамп // Московка. Новости программы «Птицы Москвы и Подмосковья». М., 2009. № 9. С. 40–47.
12. Коблик Е.А., Редькин Я.А., Архипов В.Ю. Список птиц Российской Федерации. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2006. 256 с.
13. Конторщиков В.В. Гринченко О.С., Петрищева А.П., Севрюгин А.В., Челинцев Н.Г. Распределение и численность сов в Московской области (по данным ранневесенних учётов) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1994. Т. 99, вып. 4. С. 47–58.
14. Конторщиков В.В., Волков С.В., Гринченко О.С., Свиридова Т.В., Коновалова Т.В., Макаров А.В. Редкие виды птиц Дубненско-Яхромской низины: воробьинообразные // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России. М., 2009. С. 124–129.
15. Конторщиков В.В., Гринченко О.С., Свиридова Т.В., Волков С.В., Шариков А.В., Хромов А.А., Зубакин В.А., Кольцов Д.Б., Коновалова Т.В., Смирнова Е.В., Иванов М.Н., Макаров А.В., Севрюгин А.В. Птицы Журавлиной родины и окрестностей: распространение и численность // Вестник Журавлиной родины. М.: Голос, 2014. Вып. 2. С. 5–170.
16. Конторщиков В.В., Гринченко О.С., Свиридова Т.В., Шариков А.В., Волков С.В., Макаров А.В., Буслаков В.В., Иванов М.Н., Кольцов Д.Б., Забугин В.В., Хромов А.А., Войтехов М.Я., Севрюгин А.В.,

Образов В.В. Птицы Журавлиной родины в 2009–2011 гг. // Вестник Журавлиной родины. М.: Голос, 2013. Вып. 1. С. 5–190.

17. Леонович В.В. Рукописные дневники за 1950–1992 гг. Хранятся в Зоологическом музее МГУ им. М.В. Ломоносова.

18. Любимова К.А. Отчет о проведении исследовательских работ по изучению фауны наземных позвоночных г. Дубны. Региональный экологический центр «Дубна». Дубна, 2002. 17 с.

19. Мищенко А.Л. Обыкновенный ремез – Remiz pendulinus (Linnaeus, 1758) // Красная книга Московской области / отв. ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.А. Соболев. М., 2008. С. 105.

20. Прилет птиц весной 2010 г. / сост. Х.Г. Куркамп // Московка. Новости программы «Птицы Москвы и Подмосковья». М., 2010. № 12. С. 16–34.

21. Птицы Москвы и Подмосковья – 2004 / сост. М.В. Калякин. М.: Геос, 2006. 203 с.

22. Свиридова Т.В., Волков С.В., Гринченко О.С., Зубакин В.А., Конторщиков В.В., Коновалова Т.В., Кольцов Д.Б. Влияние интенсивности сельскохозяйственной деятельности на птиц в агроландшафтах северного Подмосковья // Развитие современной орнитологии в Северной Евразии: Труды XII Международной орнитол. конф. Северной Евразии. Ставрополь, 2006. С. 371–399.

23. Свиридова Т.В., Гринченко О.С. Гнездование кулика-сороки в сельскохозяйственных угодьях северо-востока Московской области // Бюл. МОИП. Отд. биол., 2012. Т. 117, вып. 6. С. 21–24.

24. Свиридова Т.В., Гринченко О.С., Волков С.В., Конторщиков В.В., Забугин В.В., Кольцов Д.Б., Коновалова Т.В., Макаров А.В. Современное состояние редких куликов, гнездящихся на северо-востоке Подмосковья // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России. М., 2009. С. 225–231.

25. Свиридова Т.В., Шариков А.В., Волков С.В., Пескова И.А. Вероятное гнездование степного луня в Подмосковье // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России. М.: Изд-во КМК, 2008. С. 206–207.

26. Свиридова Т.В., Кольцов Д.Б., Конторщиков В.В., Гринченко О.С., Хромов А.А., Волков С.В. Новые сведение о редких гнездящихся куликах северо-восточного Подмосковья //Редкие виды птиц Нечернозёмного центра России 2014. Дополнение к материалам V совещания «Распространение и экология редких видов птиц Нечернозёмного центра России», Москва, 6–7 декабря 2014 г. М., 2014. С. 16–21.

27. Третьяков Н.Н. Материалы к формированию фауны водоплавающих и околоводных птиц Московского моря // Очерки природы Подмосковья. М.: Изд-во МОИП, 1947. С. 188–229.

28. Фридман В. С. Материалы по биологии редких видов дятлов Московской области // Редкие птицы центра Нечерноземья. М., 1990. С. 149–152.

29. Фридман В. С. Взаимодействие популяций зеленого и седого дятлов в Подмосковье: сопряженные изменения численности и ареала в 1984–2007 гг. // Беркут: орнитол. журн. 2009. Т. 18, № 1–2. С. 77–125.

30. Фридман В. С. Загадка зеленого дятла: как появляются гибриды с седым // Беркут: орнитол. журн. 2011. Т. 20, № 1–2. С. 127–138.

31. Хромов А.А., Свиридова Т.В., Конторщиков В.В., Гринченко О.С., Кольцов Д.В., Шариков А.В., Иванов М.Н. Новые сведения о встречах редких видов дневных хищных птиц на севере Московской области в 2014–2015 гг. // Вестник Журавлиной Родины. М.: ООО «Галлея-Принт», 2016. Вып. 3. С. 77–86.

32. Шариков А.В., Волков С.В., Басова В.Б., Гринченко О.С., Иванов М.Н., Макаров А.В., Свиридова Т.В. Особенности динамики численности хищных птиц и мелких млекопитающих в северном и южном Подмосковье // Орнитология в Северной Евразии: матер. XIII Междунар. орнитол. конф. Северной Евразии. Оренбург, 2010. С. 328–329.

Поступила в редакцию
14.04.2017

ABSTRACTS

Dabylova S.B. , Kopatch Yu.N., Zontikov A.O., Grozdanov D.N., Fedorov N.A. **Determination of detector response function for 4,43MeV γ-quanta in reaction of inelastic neutron scattering on carbon**

The work is devoted to the determination of the response function of a NaI(Tl) detector for the 4.43 MeV γ-rays, produced in the inelastic scattering of neutrons with an energy of 14.1 MeV on ^{12}C nuclei. The amplitudes of pulses, recorded in gamma spectrometry, are proportional to the energy deposited by the incident photons in the detection medium. One of the main problems of radiation detection is the restoration of the radiation characteristics of the signals measured at the detector output. This requires knowledge of the general characteristics of the radiation detector, working as a converter of the energy of the radiation into electronic signals. The basic characteristic of the detector is its response function, which can be defined as the probability that a particle with specified properties generates a specific signal, which is registered by the detector. These article presents the results of the simulation of the response function of a scintillation detector based on a NaI(Tl) crystal for gamma – rays from the inelastic scattering of fast neutrons on ^{12}C in order to study the mechanism of its formation.

Key words: response function, γ-quanta, scintillation detectors.

Kereibay D.A., Lychagin E.V. **Optimization of the configuration of thermal neutron counters by the method of ultracold neutron storage in a trap**

The prospect of further increasing accuracy of experiments devoted to neutron lifetime measurements can be related to the use of the method of UCN storage in a trap with small losses and accounting for neutron losses by registering the flux of thermalized neutrons from the wall of the trap. For such experiments several possible geometries of thermalized neutron detectors were considered. It is shown that using an additional reflector allows one to use a detector in the form of individual cylindrical counters without decreasing the detection efficiency of thermalized neutrons compared with that of a detector which has only one working volume. The results of this work can be proposed to be used to create an optimal geometry of the experimental set up.

Key word: Ultra-Cold neutrons, neutron lifetime, detector.

Kivva K.V. **Assessment of town-planning "risk-factors" as a basis formodernization of social-ecological environment**

Assessment of town-planning risks is considered as practical mechanism of risk prevention and risk value decrease. Ideas of town-planning "risk-factors" were specified and elaborated during development of town-planning "Risk-concept", as the base for modernization of social-ecological (living) environment in Russia.

Keywords: town-planning modernization, "risk-concept", renovation, characteristic time.

Mamatova M.B., Mironov V.E., Bogomolov S.L. **Modeling of gas flows in the ECR ion sources**

After successful studies of the synthesis of new nuclides, the methods of their identification by classical mass spectrometers began to develop actively. For one of these purposes, the MASHA mass spectrometer was created at the FLNR of JINR. The work is devoted to the study of particle flux dynamics in MASHA hot trap in order to increase the efficiency of "target-ECR-source" system. For such aim, a numerical 3D model of the hot chamber was created in the "MolFlow +" program, developed at CERN since 1990.

Keywords: the ECR ion sources, separator MASHA, hot trap, "MolFlow+".

Sorokina E.A., Lokoshchenko M.A. **Surface urban "Heat island" in Moscow according satellite data**

The results of analysis of the images of the Moscow region, obtained polar-orbiting satellites "Aqua" and "Terra" for the period from 2009 to 2013 were introduce. The average value of the intensity of a surface "heat island" in Moscow is about 2.6 °C. In Moscow there are 22 parks with an area of more than 0.5 sq.km. Intensity of "cool island" associated with the local wooded park zone inside Moscow is equal to −1.3 °C.

Key word: heat islands, satellite images, urban parks, AQUA, TERRA.

Turlybekuly K., Lychagin E.V. **The study of "small up-scattering" of ultracold neutrons and losses factor on a surface of hydrogen free oil Fomblin with different average molecular weight**

In this paper the results of the experimental data treatment to determine probability of "small up-scattering" of ultracold neutrons (UCN) and UCN losses factor are presented for different types of hydrogen free oil Fomblin. The phenomenon of "small up-scattering" is inelastic reflection of UCN with low energy transfer. It is the source of systematic errors in such precise experiments with UCN as the neutron lifetime measuring. The conclusion about more suitable oil for covering of UCN storage volume walls for neutron lifetime measuring is done.

Key words: UCN, losses factor, small up-scattering of UCN.

Fadeykina I. N., Lamakina O. S., Gribova E.D. **Thermal stability of polyaniline synthesized by chemical and electrochemical methods**

In the present article was carried out the chemical and electrochemical synthesis of polyaniline (PANI). The thermal stability was determined experimentally for the samples by differential scanning calorimetry method (DSC). It was found that a chemically prepared polyaniline has a higher thermal stability.

Keywords: polyaniline, conductive polymer, doping agent, thermal degradation, DSC.

Khromov A.A., Khromushin O.V., Lyubimova K.A. **Rare protected species of birds of the urban district of Dubna and its environs in the xxi century**

Based on observing birds of the urban district of Dubna and the surrounding area carried out mostly in the XXI century (1997–2017), provides information about rare and protected species listed in the Red book of the Moscow region. Data are provided in the form of essays, which are: species status for the study area, nature of stay, major habitats, the regularity of meetings, deadline of registration and other interesting facts. At the end essays are sometimes historical data on meetings of types in different years of the XX century.

Keywords: birds, rare species, Red data book, Moscow region.

Порядок публикации статей в журнале
«Вестник Международного университета природы, общества и человека Дубна»

Журнал издаётся с ноября 1996 года, является изданием университета «Дубна».

Основные рубрики, по которым принимаются оригинальные, актуальные, не публиковавшиеся ранее материалы:

- Естественные и технические науки.
- Экономика и управление.
- Социальные и гуманитарные науки.
- Информационные науки.
- Педагогика.

Осуществляется обязательная рассылка журнала в Книжную палату РФ, библиотеки других вузов страны, Московской области и города Дубна, авторам и др.

Содержание журналов с 2005 года представлено на сайте университета «Дубна».

К сотрудничеству приглашаются специалисты и исследователи в указанных областях, докторанты, аспиранты, преподаватели вуза.

Для публикации статьи необходимо представить в редакцию журнала:

— **материал** в электронном и печатном виде (текст в MS Word, рисунки в виде графических файлов — согласно Правилам оформления рукописей, действующим в университете «Дубна»), объёмом до 10 печатных страниц формата А4;

— оформленный бланк **«Передача авторского права и декларация об обязанности»** (см. приложение);

— **рецензию на статью** (одну внешнюю либо две внутренние);

— **индекс УДК** к статье;

— **аннотацию** к статье на русском и английском языках,

— **перевод на английский язык** названия статьи и фамилии, имени, отчества авторов;

— **ключевые слова** к статье — 5—6 слов или словосочетаний на русском и английском языках;

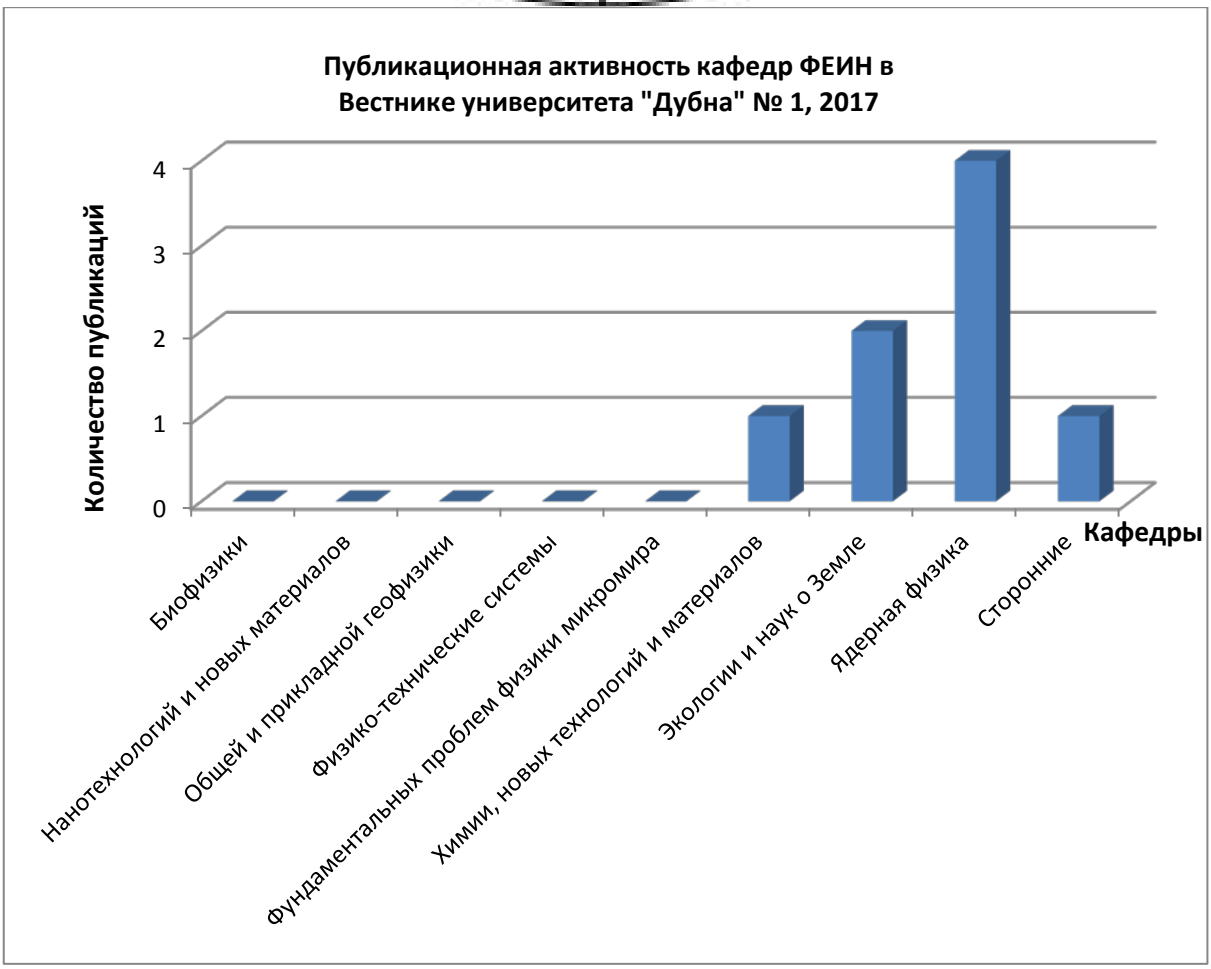
— **сведения об авторе(ах)** — полностью фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, место работы и должность; координаты: рабочий, мобильный телефон, адрес электронной почты;

— **пристатейный «Библиографический список»** — не менее пяти наименований.

Редакция может публиковать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точки зрения авторов. Авторы опубликованных статей несут ответственность за точность приведённых фактов, статистических данных, собственных имён и прочих сведений, а также за содержание материалов, не подлежащих открытой публикации.

Адрес редакции
141982, г. Дубна Московская обл.,
ул. Университетская, 19
Тел.: (+7 49621)6-60-89, 1355
E-mail: izdat@uni-dubna.ru

Кафедра нанотехнологий и новых материалов
Руководитель: к.х.н., доц. Немченок И.Б.
Направление подготовки: Химия, физика и механика материалов
Кафедра общей и прикладной геофизики
Руководитель: д.т.н., проф. Кузнецов О.Л.
Направление подготовки: Технология геологической разведки
Кафедра физико-технических систем
Руководитель: д.ф-м.н., проф. Малахов А.И.
Направления подготовки: Электроэнергетика и электро-техника, Авиастроение, Ядерная физика и технологии
Кафедра биофизики
Руководитель: д.б.н., проф. Красавин Е.А.
Направление подготовки: Ядерная физика и технологии
ФЕИН
Кафедра ядерной физики
Руководитель: д.ф-м.н., проф., Оганесян Ю.Ц.
Направления подготовки: Физика, Ядерная физика и технологии
Кафедра фундаментальных проблем физики микромира
Руководитель: д.ф.н., проф. Фурсаев Д.В.
Направление подготовки: Физика
Кафедра экологии и наук о Земле
Руководитель: к.б.н., доц., Каманина И.З.
Направление: Экология и природопользование
Кафедра химии, новых технологий и материалов
Руководитель: к.х.н., доц. Моржухина С.В.
Направление подготовки: Химия


Публикационная активность кафедр ФЕИН в Вестнике университета "Дубна" № 1, 2017
Количество публикаций
0
1
2
3
4
Биофизики
Нанотехнологий и новых материалов
Общей и прикладной геофизики
Физико-технические системы
Фундаментальных проблем физики микромира
Химии, новых технологий и материалов
Экологии и наук о Земле
Ядерная физика
Сторонние
Кафедры