

ИЗВЕСТИЯ

Гомельского государственного университета
имени Ф.Скорины

№ 4(67)

Естественные науки

2011

ИЗВЕСТИЯ

Гомельского государственного университета
имени Ф.Скорины

Научный и производственно-практический журнал

Выходит 6 раз в год

Издается с октября 1999 г.

№ 4(67)

Естественные науки

2011

Учредитель – Гомельский государственный университет имени Ф.Скорины

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь
(свидетельство о регистрации № 546 от 6 июля 2009 года)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. В. РОГАЧЕВ (главный редактор)

О. М. ДЕМИДЕНКО (зам. главного редактора)

Л. А. ШЕМЕТКОВ (зам. главного редактора)

В. В. АНДРЕЕВ, Го Вэньбинь, В. Ф. БАГИНСКИЙ, Г. Г. ГОНЧАРЕНКО, А. М. ДВОРНИК, Г. М. ЕВЕЛЬКИН,
Н. Н. КОЛЕНЧУКОВА (ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ), С. В. ЖАВОРОНОК, В. Г. ЖОГЛО,
Ф. В. КАДОЛ, В. Н. КАЛМЫКОВ, В. В. КИРИЧЕНКО, Г. Е. КОБРИНСКИЙ, Г. Г. ЛАЗЬКО, В. Д. ЛЕВЧУК
А. М. ЛИТВИН, А. В. МАКАРЕВИЧ, О. А. МАКУШНИКОВ, И. В. МАКСИМЕЙ, Н. В. МАКСИМЕНКО,
Г. И. НАРСКИН, О. С. ОСИПОВА, А. Н. СЕРДЮКОВ, Н. В. СИЛЬЧЕНКО, Б. В. СОРВИРОВ, А. А. СТАНКЕВИЧ,
М. И. СТАРОВОЙТОВ, В. М. ХОМИЧ, И. Ф. ШТЕЙНЕР, В. А. ЩЕПОВ, Я. С. ЯСКЕВИЧ

Адрес редакции:

ул. Советская, 104, к. 2-17, 246019, Гомель
Тел. 60-27-71, e-mail: vesti@gsu.by

© Известия Гомельского государственного
университета имени Франциска Скорины, 2011

© Proceedings of the F.Scorina Gomel State University, 2011

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Статья представляется в редакцию в двух экземплярах на белорусском, русском или английском языках и является оригиналом для печати. Объем статьи, как правило, не должен превышать 10 страниц, и ее разметка не требуется. Статья должна иметь разрешение соответствующего научного учреждения на опубликование. Статья должна иметь индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК), к ней следует приложить краткое резюме и ключевые слова (на русском и английском языках), название статьи, фамилии и инициалы авторов на английском языке. Ее необходимо подписать всем авторам, указать полное название учреждения, где выполнена работа, а также почтовый адрес, номер телефона (служебный и домашний). Плата за опубликование статей не взимается.

Авторы представляют на дискете (либо по электронной почте e-mail: vesti@gsu.by) tex-файл со статьей, подготовленной в LaTeX'e с опцией 12pt в стандартном стиле article (\textwidth 165 mm, \textheight 245 mm). Аналогичны требования для статей, набранных в редакторе MS Word. При наборе формул в редакторе MS Word необходимо использовать Microsoft Equation. Для набора формул не должны использоваться пакеты сторонних разработчиков (MathType и др.). Занумерованные формулы выключаются в отдельную строку, номер формулы ставится у правого края страницы. Нумеровать следует лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

Статьи, претендующие на научный приоритет, оформляются в виде кратких сообщений объемом до 2 страниц текста и, как правило, публикуются в ближайших номерах журнала.

Ссылки в тексте обозначаются порядковым номером в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Поступившие в редакцию статьи направляются на рецензию специалистам. Основным критерием целесообразности публикации является новизна и информативность статьи. Авторы не должны направлять статьи, которые уже опубликованы, либо приняты к печати в других изданиях. Если по рекомендации рецензента статья возвращается автору на доработку, то переработанная рукопись вновь рассматривается редколлегией, и датой поступления считается день получения редакцией окончательного ее варианта. Лицам, осуществляющим послевузовское обучение, предоставляется право первоочередного опубликования статей.

Технический редактор *И. В. Близнец*. Корректор *Е. Л. Хазанова*. Переводчик *Хорсун И.А.*

Подписано в печать 10.08.2011. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. п. л. 25,6. Уч.-изд. л. 22,3. Тираж 100 экз. Заказ № 407

Цена свободная

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»
ЛИ № 02330/0549481 от 14.05.2009.
Ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель.

МАТЕМАТИКА

УДК 517.544.76

Об интегральном представлении одного класса аналитических функций

А. А. АТВИНОВСКИЙ

Рассмотрен класс функций, тесно связанный с классом М. Г. Крейна, и дано интегральное представление функций этого класса.

Ключевые слова: аналитическая функция, класс Неванлинны, класс М. Г. Крейна, интегральное представление.

The class of functions closely related to M. G. Krein class is considered and the integral representation of functions of this class is given.

Keywords: analytic function, Nevanlinna class, M. G. Krein class, integral representation.

Класс функций $R(a;b)$ был введен М. Г. Крейном в связи со степенной проблемой моментов на конечном интервале [1, глава IV, § 7]. В данной статье будет рассмотрен класс функций, тесно связанный с классом М. Г. Крейна, и дано интегральное представление функций этого класса.

Далее нам понадобится интегральное представление функций класса Неванлинны R .

Определение 1. Говорят, что функция $F(z)$ принадлежит классу R , если она голоморфна в верхней полуплоскости, и $\operatorname{Im}(F(z)) \geq 0$ при $\operatorname{Im}(z) > 0$.

Функции этого класса допускают следующее интегральное представление.

Теорема 1 (Р. Неванлинна). Для того, чтобы функция $F(z)$ принадлежала классу R , необходимо и достаточно, чтобы она имела вид

$$F(z) = \alpha_1 + \beta_1 z + \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{1}{t-z} - \frac{t}{1+t^2} \right) d\sigma(t), \quad (1)$$

где α_1 – вещественное число, $\beta_1 \geq 0$, а $\sigma(t)$ – неубывающая функция, для которой сходится

интеграл $\int_{-\infty}^{+\infty} (1+t^2)^{-1} d\sigma(t)$.

Отметим, что в силу принципа максимума для гармонических функций $\operatorname{Im}(F(z)) > 0$ при $\operatorname{Im}(z) > 0$, если F не есть вещественная постоянная.

Определение 2 [1]. Пусть $a < b$. Функцию $g(z)$ отнесем к классу $R(a;b)$, если она принадлежит классу R и голоморфна и положительна на $(-\infty; a)$ и голоморфна и отрицательна на $(b; +\infty)$.

Лемма 1. Функция $g(z)$ из $R(a;b)$ нигде не обращается в нуль, причем $\operatorname{Im}(g(z)) > 0$ при $\operatorname{Im}(z) > 0$ и $\operatorname{Im}(g(z)) < 0$ при $\operatorname{Im}(z) < 0$

Доказательство. Известно [1, с. 525 – 526], что функцию $g(z)$ можно представить в виде

$$g(z) = \int_a^b \frac{d\sigma(t)}{t-z}, \quad (2)$$

где $\sigma(t)$ – ограниченная неубывающая функция, отличная от постоянной.

Поскольку

$$\frac{1}{t-z} = \frac{t-x}{|t-\bar{z}|^2} + \frac{iy}{|t-\bar{z}|^2},$$

то

$$\operatorname{Im}(g(z)) = y \int_a^b \frac{d\sigma(t)}{|t-z|^2}.$$

Так как соответствующая функции $\sigma(t)$ мера $\sigma \neq 0$, то отсюда следует, что $g(z)=0$ только при $y=0$, т. е. $g(z)$ может обращаться в нуль лишь на действительной оси. Но $g(x) = \int_a^b \frac{d\sigma(t)}{t-x} \neq 0$ при $x \in (-\infty; a) \cup (b; +\infty)$, поскольку подынтегральная функция непрерывна и сохраняет знак на каждом из этих промежутков. Второе утверждение леммы сразу следует из формулы для $\operatorname{Im}(g(z))$, полученной выше.

Определение 3. Пусть $a < b$. Введем класс функций $Q(a, b)$ следующим образом:

$$Q(a, b) := \left\{ \phi(z) \mid \phi(z) = \frac{1}{g(z)}, g(z) \in R(a, b) \right\}.$$

Лемма 2. Функция $\phi(z)$ принадлежит классу $Q(a, b)$, если и только если она голоморфна в верхней полуплоскости, переводит верхнюю полуплоскость в нижнюю, а также голоморфна и положительна на интервале $(-\infty; a)$ и голоморфна и отрицательна на интервале $(b; +\infty)$.

Доказательство леммы осуществляется непосредственной проверкой.

Из леммы 2, в частности, следует, что класс $Q(a, b)$ устойчив относительно сложения и умножения на положительные числа, то есть является конусом.

Еще одно следствие леммы 2 состоит в том, что если функция $\phi(z)$ принадлежит классу $Q(0, b)$, то $-\phi(z)$ является отрицательной операторно-монотонной (относительно последнего класса функций см., например, [2]), а потому принадлежит классу неположительных функций Бернштейна (см., например, [3]).

Следующая теорема дает интегральное представление функций класса $Q(a, b)$.

Теорема 2. Для того, чтобы функция $\phi(z)$ принадлежала классу $Q(a, b)$, необходимо и достаточно, чтобы её можно было представить в виде

$$\phi(z) = \alpha + \beta z - \int_a^b \frac{d\sigma(t)}{t-z}, \quad (3)$$

где функция $\sigma(t)$ не убывает и ограничена, интегралы $\int_a^b (t-a)^{-1} d\sigma(t)$ и $\int_a^b (t-b)^{-1} d\sigma(t)$ сходятся, а числа α и β удовлетворяют следующим условиям:

$$\begin{cases} \alpha + \beta a - \int_a^b (t-a)^{-1} d\sigma(t) \geq 0 \\ \alpha + \beta b - \int_a^b (t-b)^{-1} d\sigma(t) \leq 0. \\ \beta < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Доказательство. Необходимость. Пусть $\phi(z) \in Q(a, b)$. Тогда, как легко проверить, функция $-\phi(z)$ принадлежит R , а потому (теорема 1):

$$-\phi(z) = \alpha_1 + \beta_1 z + \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{1}{t-z} - \frac{t}{1+t^2} \right) d\sigma(t), \quad (5)$$

где $\sigma(t)$ – неубывающая функция, α_1 – вещественное число, а $\beta_1 \geq 0$. Воспользуемся формулой обращения Стильтьеса-Перрона, которая в случае функции $-\phi(z)$ при подходящей нормировке интегрирующей функции имеет вид (см., например, [4, с. 157])

$$\sigma(t_2) - \sigma(t_1) = -\frac{1}{\pi} \cdot \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_a^b \operatorname{Im}(\phi(x + i\varepsilon)) dx.$$

Ввиду голоморфности и вещественности функции $\phi(z)$ при $z=x < a$ и $z=x > b$ правая часть здесь равна нулю, т. е. функция $\sigma(t)$ постоянна при $t < a$ и $t > b$ и, в частности, ограничена. Поэтому из (5) следует, что

$$-\phi(z) = \alpha' + \beta_1 z + \int_a^b \frac{d\sigma(t)}{t-z},$$

то есть

$$\phi(z) = \alpha + \beta z - \int_a^b \frac{d\sigma(t)}{t-z},$$

где α – вещественное число, а $\beta = -\beta_1 < 0$, поскольку $\phi(\infty) = \infty$ в силу определения 3 и формулы (2). Воспользуемся теперь тем, что функция $\phi(x)$ положительна на интервале $(-\infty; a)$ и отрицательна на интервале $(b; +\infty)$. Поскольку функции $\alpha + \beta x$ и $x \mapsto -1/(t-x) = 1/(x-t)$ (при $t \in [a, b]$) строго убывают на каждом из этих интервалов, то этим свойством обладает и функция $\phi(x)$. Поэтому она положительна на интервале $(-\infty; a)$ тогда и только тогда, когда $\phi(a-0) \geq 0$. В силу теоремы Б. Леви это равносильно тому, что $\alpha + \beta a - h(a) \geq 0$, где

$$h(z) = \int_a^b \frac{d\sigma(t)}{t-z}, \quad (6)$$

причем $h(a)$ существует. Аналогично функция $\phi(x)$ отрицательна на интервале $(b; +\infty)$ тогда и только тогда, когда $\phi(b+0) \leq 0$, т. е. $\alpha + \beta b - h(b) \leq 0$, причем $h(b)$ существует. Таким образом, коэффициенты α и β удовлетворяют условиям (4).

Достаточность. Пусть $\phi(z)$ имеет интегральное представление (3), где коэффициенты α и β удовлетворяют условиям (4). Выпишем мнимую часть функции $\phi(z)$:

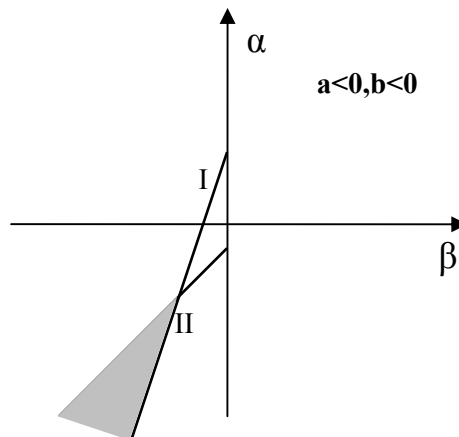
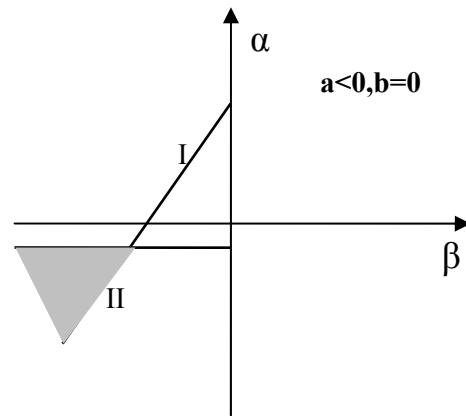
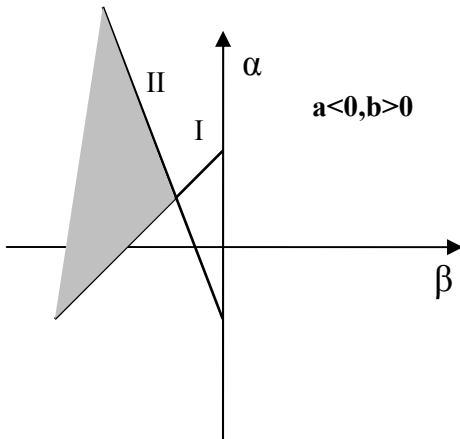
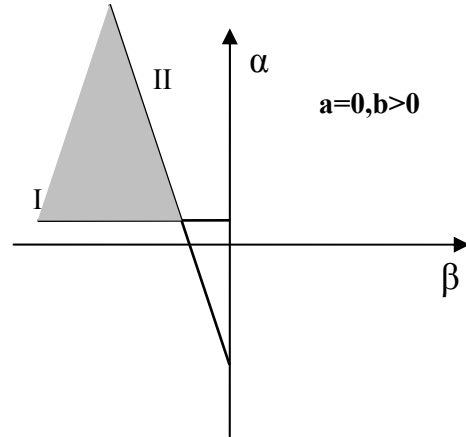
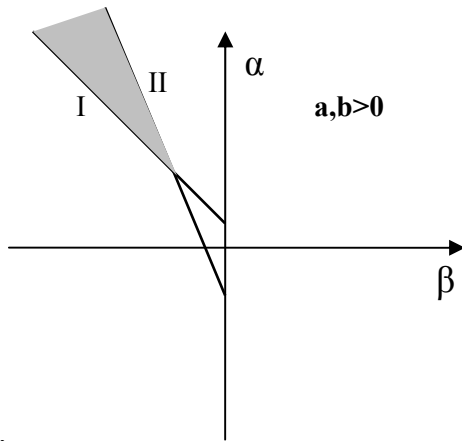
$$\operatorname{Im}(\phi(z)) = y \left(\beta - \int_a^b \frac{d\sigma(t)}{|t-z|^2} \right).$$

Из этого выражения видно, что функция $\phi(z)$ переводит верхнюю полуплоскость в нижнюю. Кроме того, в силу (3) она голоморфна в верхней полуплоскости, а также голоморфна и положительна на промежутке $(-\infty; a)$ и голоморфна и отрицательна на промежутке $(b; +\infty)$, так как строго убывает, и $\phi(a-0) \geq 0$, а $\phi(b+0) \leq 0$ в силу (4). Следовательно, $\phi(z)$ принадлежит $Q(a, b)$, что и требовалось доказать.

Замечание. Из (3) вытекает, что

$$\beta = \phi'(\infty) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\phi(x)}{x}, \quad \alpha = \lim_{x \rightarrow \infty} (\phi(x) - \beta x).$$

На следующих рисунках указана область изменения коэффициентов α и β в зависимости от знаков a и b (цифрами I и II на них обозначены прямые, заданные соответственно уравнениями $\alpha + \beta a - h(a) = 0$ и $\alpha + \beta b - h(b) = 0$, причем $h(a) \geq 0$, $h(b) \leq 0$). В частности, из них видно, что эта область всегда не пуста.



Следствие. Если функция $\phi(z)$ принадлежала классу $Q(a, b)$, то она голоморфна на дополнении к отрезку $[a, b]$ и переводит нижнюю полуплоскость в верхнюю.

Примеры. Следующие функции принадлежат классу $Q(a, b)$:

1) линейные функции $\phi(z) = \alpha + \beta z$, где $-\beta a \leq \alpha \leq -\beta b$, $\beta < 0$;

2) $\phi(z) = \frac{1}{\ln(z-d)/(z-c)}$, где $a \leq c < d \leq b$, а ветвь логарифма в плоскости с разрезом

по отрицательной части действительной оси выделена условием $\ln 1 = 0$ (мы выбрали в представлении (2) в качестве σ меру, сосредоточенную на отрезке $[c, d]$ и совпадающую на нем с мерой Лебега);

3) $\phi(z) = \alpha + \beta z - \ln(z-d)/(z-c)$, где $a < c < d < b$, ветвь логарифма в плоскости с разрезом по отрицательной части действительной оси выделена условием $\ln 1 = 0$, а

$$\begin{cases} \alpha + \beta a \geq \ln \frac{d-a}{c-a} \\ \alpha + \beta b \leq \ln \frac{d-b}{c-b} \\ \beta < 0 \end{cases}$$

(мы выбрали в представлении (3) ту же меру σ , что и в примере 2);

4) $\phi(z) = \alpha + \beta z - (d-c) - z \ln(z-d)/(z-c)$, где $0 \leq a < c < d < b$, ветвь логарифма в плоскости с разрезом по отрицательной части действительной оси выделена условием $\ln 1 = 0$, а

$$\begin{cases} \alpha + \beta a \geq d-c + a \ln \frac{d-a}{c-a} \\ \alpha + \beta b \leq d-c + b \ln \frac{d-b}{c-b} \\ \beta < 0 \end{cases}$$

(мы взяли в представлении (3) непрерывную функцию $\sigma(t)$, совпадающую с $(1/2)t^2$ на $[c, d]$ и постоянную на $[a, c] \cup [d, b]$).

Благодарю профессора А. Р. Миротина, под руководством которого была выполнена эта работа.

Литература

1. Крейн, М. Г. Проблема моментов Маркова и экстремальные задачи / М. Г. Крейн, А. А. Нудельман. – М.: Наука, 1973. – 552 с.
2. Миротин, А. Р. Обращение операторно-монотонных функций негативных операторов в банаховом пространстве / А. Р. Миротин. // Труды института математики. Минск. – 2004. – Том. 12, № 1. – С. 104 – 108.
3. Миротин, А. Р. Многомерное T -исчисление генераторов C_0 -полугрупп / А. Р. Миротин // Алгебра и анализ. – 1999. – Т. 11, № 2. – С. 142–170.
4. Ахиезер, Н. И. Классическая проблема моментов и некоторые задачи анализа, связанные с нею / Н. И. Ахиезер – М.: Физматгиз, 1961. – 310 с.

УДК 517.977

Модули над групповыми кольцами локально разрешимых групп с условием $\min - nnd$

О. Ю. ДАШКОВА

Автор изучает $\mathbf{R}G$ -модуль A такой, что $\mathbf{R}$ — коммутативное кольцо, группа G локально разрешима, фактормодуль $A/C_A(G)$ не является нётеровым $\mathbf{R}$ -модулем, а система всех подгрупп $H \leq G$, для которых $A/C_A(H)$ не является нётеровым $\mathbf{R}$ -модулем, удовлетворяет условию минимальности. Это условие названо условием $\min - nnd$. Получены некоторые свойства группы G .

Ключевые слова: групповое кольцо, локально разрешимая группа.

The author studies an $\mathbf{R}G$ -module A such that $\mathbf{R}$ is a commutative ring, a group G is locally solvable, the quotient module $A/C_A(G)$ is not a Noetherian $\mathbf{R}$ -module, and the system of all subgroups $H \leq G$ for which the quotient modules $A/C_A(H)$ are not Noetherian $\mathbf{R}$ -modules, satisfies the minimal condition. This condition is called the condition $\min - nnd$. Some properties of a group G are obtained.

Keywords: group ring, locally soluble group.

Пусть A — векторное пространство над полем F . Подгруппы группы $GL(F, A)$ всех автоморфизмов пространства A называются линейными группами. Если A имеет конечную размерность над полем F , группа $GL(F, A)$ может быть отождествлена с группой невырожденных квадратных матриц размерности $n \times n$ над полем F , где $n = \dim_F A$. Конечномерные линейные группы играют важную роль в математике, физике, естествознании и достаточно хорошо изучены. В случае, когда пространство A имеет бесконечную размерность над полем F , ситуация кардинально меняется. Изучение бесконечномерных линейных групп возможно лишь при наложении на них дополнительных ограничений. К таким ограничениям относятся различные условия конечности. В [1] введено понятие центральной размерности бесконечномерной линейной группы. Пусть H — подгруппа группы $GL(F, A)$. H действует на фактор-пространстве $A/C_A(H)$ естественным образом. Авторы полагают $\dim_F H = \dim_F (A/C_A(H))$. Говорят, что подгруппа H имеет конечную центральную размерность, если $\dim_F H$ конечна. В противном случае полагают, что центральная размерность подгруппы H бесконечна.

Пусть $G \leq GL(F, A)$. В [1] введена в рассмотрение система подгрупп $\mathbf{L}_{\text{id}}(\mathbf{G})$, состоящая из всех подгрупп группы G , имеющих бесконечную центральную размерность. Для того, чтобы исследовать бесконечномерные линейные группы, естественно рассмотреть случаи, когда система $\mathbf{L}_{\text{id}}(\mathbf{G})$ “достаточно мала”. В [1] изучались локально разрешимые бесконечномерные линейные группы, у которых $\mathbf{L}_{\text{id}}(\mathbf{G})$ удовлетворяет условию минимальности. В [2] исследовались разрешимые бесконечномерные линейные группы, у которых система $\mathbf{L}_{\text{id}}(\mathbf{G})$ удовлетворяет условию максимальности.

Если $G \leq GL(F, A)$, то A можно рассматривать как FG -модуль. Естественным обобщением данного случая является рассмотрение $\mathbf{R}G$ -модуля A , где $\mathbf{R}$ — кольцо, структура которого достаточно близка к структуре поля. При этом обобщением понятия центральной размерности линейной группы является понятие коцентрализатора подгруппы, введенное в [3]. Пусть A — $\mathbf{R}G$ -модуль, где $\mathbf{R}$ — кольцо, G — группа. Ес-

ли $H \leq G$, то фактор-модуль $A/C_A(H)$, рассматриваемый как $\mathbf{R}$ -модуль, называется коцентрализатором подгруппы H в модуле A .

Достаточно широкими классами модулей над групповыми кольцами являются артиновы модули над групповыми кольцами и нетеровы модули над групповыми кольцами. Напомним, что модуль называется артиновым, если частично упорядоченное множество его подмодулей удовлетворяет условию минимальности. Модуль называется нетеровым, если частично упорядоченное множество его подмодулей удовлетворяет условию максимальности. Следует отметить, что многие проблемы алгебры нуждаются в исследовании некоторых специфических артиновых и нетеровых модулей над групповыми кольцами, а также модулей над групповыми кольцами, которые не являются артиновыми или нетеровыми, но в некотором смысле близки к ним.

В [4] изучался $\mathbf{R}G$ -модуль A такой, что $\mathbf{R}$ – дедекиндово кольцо, и коцентрализатор группы G в модуле A не является артиновым $\mathbf{R}$ -модулем. Введена в рассмотрение система $L_{nad}(G)$ всех подгрупп группы G , коцентрализаторы которых в модуле A не являются артиновыми $\mathbf{R}$ -модулями. На $L_{nad}(G)$ введен порядок относительно обычного включения подгрупп. Если $L_{nad}(G)$ удовлетворяет условию минимальности как упорядоченное множество, говорят, что группа G удовлетворяет условию минимальности для подгрупп, коцентрализаторы которых в модуле A не являются артиновыми $\mathbf{R}$ -модулями, или, просто, что группа G удовлетворяет условию $min - nad$. В [4] описана структура локально разрешимой группы с условием $min - nad$.

В работе изучается $\mathbf{R}G$ -модуль A такой, что коцентрализатор группы G в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Пусть $L_{nnd}(G)$ – система всех подгрупп группы G , коцентрализаторы которых в модуле A не являются нетеровыми $\mathbf{R}$ -модулями. Введем на $L_{nnd}(G)$ порядок относительно обычного включения подгрупп. Если $L_{nnd}(G)$ удовлетворяет условию минимальности как упорядоченное множество, будем говорить, что группа G удовлетворяет условию минимальности для подгрупп, коцентрализаторы которых в модуле A не являются нетеровыми $\mathbf{R}$ -модулями, или, просто, что группа G удовлетворяет условию $min - nnd$. В работе изучаются локально разрешимые группы с условием $min - nnd$ и обобщаются некоторые результаты работы [1]. Рассматривается случай, когда $\mathbf{R}$ – произвольное коммутативное кольцо. Аналогичная проблема для $\mathbf{R}G$ -модуля A , когда $\mathbf{R}$ является кольцом целых чисел, исследовалась в [5].

Далее всюду рассматривается $\mathbf{R}G$ -модуль A такой, что $C_G(A) = 1$, $\mathbf{R}$ – коммутативное кольцо.

Приведем некоторые элементарные факты о $\mathbf{R}G$ -модулях. Так, если $K \leq H \leq G$, и коцентрализатор подгруппы H в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем, то коцентрализатор подгруппы K в модуле A также является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Если U, V – подгруппы группы G такие, что их коцентрализаторы в модуле A – нетеровы $\mathbf{R}$ -модули, то фактор-модуль $A/(C_A(U) \cap C_A(V))$ также является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Поэтому коцентрализатор подгруппы $\langle U, V \rangle$ в модуле A – нетеров $\mathbf{R}$ -модуль.

Предположим, что группа G удовлетворяет условию $min - nnd$. Если $H_1 > H_2 > H_3 > \dots$ – бесконечный строго убывающий ряд подгрупп группы G , то существует такое натуральное число n , что коцентрализатор подгруппы H_n в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Кроме того, если N – нормальная подгруппа группы G и коцентрализатор подгруппы N в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем, то фактор-группа G/N удовлетворяет условию минимальности для подгрупп.

Лемма 1. Пусть A – $\mathbf{R}G$ -модуль, и предположим, что группа G удовлетворяет условию $min - nnd$. Пусть X, H – подгруппы группы G , Λ – бесконечное множество и выполнены следующие условия:

(i) $X = Dr_{\lambda \in \Lambda} X_\lambda$, где $1 \neq X_\lambda$ – H -инвариантная подгруппа группы X для каждого $\lambda \in \Lambda$.

(ii) $H \cap X \leq Dr_{\lambda \in \Gamma} X_\lambda$ для некоторого подмножества Γ множества Λ .

Если множество $\Omega = \Lambda \setminus \Gamma$ бесконечно, то коцентральный подгруппы H в модуле A – нетеров $\mathbf{R}$ -модуль.

Доказательство данной леммы аналогично доказательству леммы 2.1 [1].

Следующий результат дает важную информацию о структуре фактор-группы G/G' .

Предложение. Пусть A – $\mathbf{R}G$ -модуль. Предположим, что группа G удовлетворяет условию $\min - \text{pnd}$ и коцентральный подгруппы G в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Тогда фактор-группа G/G' является черниковской группой.

Доказательство. Предположим противное. Пусть фактор-группа G/G' не является черниковской группой, S – множество всех подгрупп $H \leq G$ таких, что фактор-группа H/H' не является черниковской группой и коцентральный подгруппы H в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Поскольку $G \in S$, то $S \neq \emptyset$. Так как S удовлетворяет условию минимальности, то S имеет минимальный элемент. Обозначим его через D . Если U, V – собственные подгруппы группы D , такие, что $D = UV$, и $U \cap V = D'$, то по крайней мере одна из этих подгрупп, скажем, U , такова, что коцентральный подгруппы U в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Из выбора подгруппы D вытекает, что фактор-группа U/U' является черниковской группой. Следовательно, фактор-группа $U/D' \simeq (U/U')/(D'/U')$ – черниковская. Поскольку коцентральный подгруппы U в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем, то абелева фактор-группа D/U также является черниковской, и поэтому фактор-группа D/D' – черниковская. Противоречие с выбором подгруппы D . Следовательно, фактор-группа D/D' неразложима. Отсюда вытекает, что фактор-группа D/D' изоморфна подгруппе квазициклической группы C_{q^∞} для некоторого простого числа q . Противоречие. Лемма доказана.

Пусть A – $\mathbf{R}G$ -модуль, и группа G удовлетворяет условию $\min - \text{pnd}$. Обозначим через $ND(G)$ множество всех элементов $x \in G$ таких, что коцентральный подгруппы $\langle x \rangle$ в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Поскольку $C_A(x^g) = C_A(x)g$ для всех $x, g \in G$, то $ND(G)$ – нормальная подгруппа группы G .

Теорема 1. Пусть A – $\mathbf{R}G$ -модуль, G – периодическая локально разрешимая группа, удовлетворяющая условию $\min - \text{pnd}$, и коцентральный подгруппы G в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Тогда либо группа G удовлетворяет условию минимальности для подгрупп, либо $G = ND(G)$.

Доказательство. Предположим противное. Пусть группа G не удовлетворяет условию минимальности для подгрупп, $G \neq ND(G)$, S – множество таких подгрупп $H \leq G$, что H не удовлетворяет условию минимальности для подгрупп, и $H \neq ND(H)$. Тогда $S \neq \emptyset$. Покажем, что S удовлетворяет условию минимальности. Пусть $\{H_\sigma | \sigma \in \Sigma\}$ – некоторое непустое подмножество множества S . Поскольку $H_\sigma \neq ND(H_\sigma)$ для любого $\sigma \in \Sigma$, то для любого $\sigma \in \Sigma$ существует элемент $h_\sigma \in H_\sigma$ такой, что его коцентральный подгруппы в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Так как $C_A(H_\sigma) \leq C_A(\langle h_\sigma \rangle)$, то коцентральный подгруппы H_σ в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Поскольку группа G удовлетворяет условию $\min - \text{pnd}$, то множество S удовлетворяет условию минимальности. Пусть M – минимальный элемент S и $L = ND(M)$. Существует строго убывающий ряд подгрупп группы M :

$$V_1 > V_2 > V_3 > \dots$$

Поскольку группа M удовлетворяет условию $min - nnd$, существует такое натуральное число k , что коцентрализатор подгруппы V_k в модуле A – нетеров $\mathbf{R}$ -модуль. Следовательно, $V_k \leq L$, и поэтому подгруппа L не удовлетворяет условию минимальности. Из выбора подгруппы M вытекает, что если $x \in M \setminus L$, то $\langle x, L \rangle = M$. Следовательно, фактор-группа M/L имеет простой порядок q . Заменяя x , если это необходимо, подходящей степенью, можно считать, что элемент x имеет порядок q^r для некоторого натурального числа r . Так как подгруппа M не является черниковской, по теореме Д. И. Зайцева [7], получаем, что M содержит $\langle x \rangle$ -инвариантную подгруппу $B = Dr_{n \in \mathbf{N}} \langle b_n \rangle$, и можно считать, что каждый элемент b_n имеет простой порядок для каждого $n \in \mathbf{N}$. Пусть $1 \neq c_1 \in B$ и $C_1 = \langle c_1 \rangle^{\langle x \rangle}$. Тогда подгруппа C_1 конечна, и существует подгруппа E_1 такая, что $B = C_1 \times E_1$. Положим $U_1 = \text{core}_{\langle x \rangle} E_1$. Тогда подгруппа U_1 имеет конечный индекс в B . Если $1 \neq c_2 \in U_1$ и $C_2 = \langle c_2 \rangle^{\langle x \rangle}$, то C_2 является конечной $\langle x \rangle$ -инвариантной подгруппой и $\langle C_1, C_2 \rangle = C_1 \times C_2$. Продолжив построение, мы получим семейство $\{C_n | n \in \mathbf{N}\}$ конечных $\langle x \rangle$ -инвариантных подгрупп группы B таких, что $\{C_n | n \in \mathbf{N}\} = Dr_{n \in \mathbf{N}} C_n$. Согласно лемме 1, $x \in L$. Противоречие. Теорема доказана.

Лемма 2. Пусть A – $\mathbf{R}G$ -модуль, G – локально разрешимая группа и коцентрализатор группы G в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Тогда группа G обладает нормальной гиперабелевой подгруппой N такой, что фактор-группа G/N разрешима.

Доказательство. Поскольку коцентрализатор группы G в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем, $A/C_A(G)$ – конечно порожденный $\mathbf{R}$ -модуль. Пусть $C = C_A(G)$. Модуль A обладает конечным рядом $\mathbf{R}G$ -подмодулей

$$\langle 0 \rangle = C_0 \leq C_1 = C \leq C_2 = A,$$

таким, что C_2/C_1 – конечно порожденный $\mathbf{R}$ -модуль.

По теореме 13.5 [6], фактор-группа $\overline{G} = G/C_G(C_2/C_1)$ содержит нормальную локально нильпотентную, гиперабелеву подгруппу $\overline{N} = N/C_G(C_2/C_1)$, такую, что фактор-группа $\overline{G}/\overline{N}$ вкладывается в декартово произведение $\overline{\prod}_{\alpha \in \mathcal{A}} G_\alpha$ конечномерных линейных групп G_α степени $f \leq n$, где число n зависит только от числа порождающих элементов $\mathbf{R}$ -модуля C_2/C_1 . Поскольку группа G локально разрешима, то и фактор-группа $\overline{G}$ также локально разрешима. Следовательно, проекция H_α фактор-группы $\overline{G}/\overline{N}$ на каждую подгруппу G_α – локально разрешимая конечномерная линейная группа степени $\leq n$. Согласно следствию 3.8 [6], подгруппа H_α разрешима для любого $\alpha \in \mathcal{A}$. По теореме 3.6 [6], каждая группа H_α содержит нормальную подгруппу K_α , такую, что $|H_\alpha : K_\alpha| \leq \mu(n)$, подгруппа K_α триангулируема и K_α содержит нильпотентную подгруппу M_α степени $\leq n - 1$, являющуюся нормальной подгруппой группы H_α , причем фактор-группа K_α/M_α – абелева. Следовательно, группа $H = \overline{\prod}_{\alpha \in \mathcal{A}} H_\alpha$ содержит нормальную нильпотентную подгруппу $M = \overline{\prod}_{\alpha \in \mathcal{A}} M_\alpha$ степени, не превосходящей числа $n - 1$, фактор-группа H/M содержит нормальную абелеву подгруппу K/M , где $K = \overline{\prod}_{\alpha \in \mathcal{A}} K_\alpha$, а фактор-группа $(H/M)/(K/M)$ – локально конечная группа конечного периода, не превосходящего числа $\mu(n)!$. Отсюда вытекает, что группа H разрешима, и ее степень разрешимости не превосходит числа $n - 1 + 1 + \mu(n)! = n + \mu(n)!$. Поэтому фактор-группа $\overline{G}/\overline{N}$ также разрешима, и ее степень разрешимости не превосходит числа $n + \mu(n)!$. Следовательно, группа G имеет ряд нормальных подгрупп $C_G(C_2/C_1) \leq N \leq G$. Поскольку $G/N \simeq \overline{G}/\overline{N}$, то фактор-группа G/N разрешима, и ее степень разрешимости не превосходит числа $n + \mu(n)!$. Так как подгруппа $C_G(A/C_A(G))$

абелева, а фактор-группа $N/C_G(C_2/C_1)$ гиперабелева, то подгруппа N гиперабелева. Лемма доказана.

Теорема 2. Пусть A – $\mathbf{R}G$ -модуль, G – локально разрешимая группа, коцентральный факторизатор группы G в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем и группа G удовлетворяет условию $\text{min} - \text{nnd}$. Тогда группа G либо разрешима, либо содержит нормальную подгруппу W , для которой фактор-группа G/W гиперабелева, а W обладает таким возрастающим рядом $1 = W_0 \leq W_1 \leq \dots \leq W_\alpha \leq \dots \leq W_{\beta_0} = W$ нормальных подгрупп группы G , что для каждого $\alpha < \beta_0$ коцентральный факторизатор фактор-группы $W_{\alpha+1}/W_\alpha$ в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем и структура $W_{\alpha+1}/W_\alpha$ определяется леммой 2.

Доказательство. Пусть $S_1 = \{V_\sigma | \sigma \in \Sigma\}$ – семейство всех нетривиальных нормальных подгрупп группы G . Если для некоторого $\sigma_1 \in \Sigma$ коцентральный факторизатор подгруппы V_{σ_1} в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем, положим $W_1 = V_{\sigma_1}$. Пусть $S_2 = \{V_\delta/W_1 | \delta \in \Delta\}$ – семейство всех нетривиальных нормальных подгрупп фактор-группы G/W_1 . Если для некоторого $\delta_1 \in \Delta$ коцентральный факторизатор фактор-группы V_{δ_1}/W_1 в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем, положим $W_2 = V_{\delta_1}$. Продолжим построение указанным способом. На шаге с номером η получим ряд $1 = W_0 \leq W_1 \leq \dots \leq W_\gamma \leq \dots \leq W_\eta$ нормальных подгрупп группы G , такой, что для каждого $\gamma < \eta$ коцентральный факторизатор фактор-группы $W_{\gamma+1}/W_\gamma$ в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Если $G \neq W_\eta$, рассмотрим семейство $S_{\eta+1} = \{V_\psi/W_\eta | \psi \in \Psi\}$ всех нетривиальных нормальных подгрупп фактор-группы G/W_η . Если для некоторого $\psi_1 \in \Psi$ коцентральный факторизатор фактор-группы V_{ψ_1}/W_η в модуле A является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем, положим $W_{\eta+1} = V_{\psi_1}$. На шаге с номером β_0 получим ряд $1 = W_0 \leq W_1 \leq \dots \leq W_\alpha \leq \dots \leq W_{\beta_0}$ нормальных подгрупп группы G , такой, что для каждого $\alpha < \beta_0$ коцентральный факторизатор фактор-группы $W_{\alpha+1}/W_\alpha$ в модуле A – нетеров $\mathbf{R}$ -модуль, а фактор-группа G/W_{β_0} не содержит нетривиальных нормальных подгрупп, коцентральный факторизаторы которых в модуле A являются нетеровыми $\mathbf{R}$ -модулями. Полагаем $W_{\beta_0} = W$.

Докажем, что фактор-группа G/W гиперабелева. Достаточно рассмотреть случай, когда фактор-группа G/W не является разрешимой. Покажем, что каждый нетривиальный образ фактор-группы G/W содержит нетривиальную нормальную абелеву подгруппу. Пусть L/W – собственная нормальная подгруппа фактор-группы G/W . Поскольку коцентральный факторизатор фактор-группы L/W в модуле A не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем, то коцентральный факторизатор подгруппы L в модуле A также не является нетеровым $\mathbf{R}$ -модулем. Следовательно, фактор-группа G/L удовлетворяет условию минимальности для подгрупп и является черниковской группой. Поскольку $(G/W)/(L/W) \simeq G/L$, фактор-группа $(G/W)/(L/W)$ также является черниковской и содержит нетривиальную нормальную абелеву подгруппу. Отсюда вытекает, что фактор-группа G/W гиперабелева. Теорема доказана.

Литература

1. Dixon, M.R. Linear groups with the minimal condition on subgroups of infinite central dimension / M. R. Dixon, M. J. Evans, L. A. Kurdachenko // Journal of Algebra. — 2004. — V. 277, № 1. — P. 172–186.
2. Kurdachenko, L.A. Linear groups with the maximal condition on subgroups of infinite central dimension / L. A. Kurdachenko, I. Ya. Subbotin // Publicacions Mat. — 2006. — V.50. — P.103–131.

3. Курдаченко, Л.А. О группах с минимаксными классами сопряженных элементов / Л. А. Курдаченко // Бесконечные группы и примыкающие алгебраические структуры. Академия наук Украины, Киев. — 1993. — С. 160–177.
4. Dashkova, O.Yu. On modules over group rings of locally soluble groups with rank restrictions on some systems of subgroups / O. Yu. Dashkova // Asian-European Journal of Mathematics. — 2010. — V. 3, № 1. — P. 45–55.
5. Дашкова, О.Ю. Модули над целочисленными групповыми кольцами локально разрешимых групп с ограничениями на некоторые системы подгрупп / О. Ю. Дашкова // Доповіді Національної Академії Наук України. Математика. — 2009. — № 2. — С. 14–19.
6. Wehrfritz, B.A.F. Infinite Linear Groups / B. A. F. Wehrfritz // Ergebnisse der Mathematik und ihrer Grenzgebiete, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin. — 1973. — 229 p.
7. Зайцев, Д.И. О разрешимых подгруппах локально разрешимых групп / Д. И. Зайцев // Доклады Академии наук СССР. — 1974. — Т. 214, № 6. — С. 1250–1253.

Днепропетровский национальный университет
E-mail: odashkova@yandex.ru

Поступило 26.03.11

УДК 512.53

Группа автоморфизмов свободного произведения π -регулярных полугрупп

А. В. Жучок

Доказано, что группа автоморфизмов свободного произведения произвольных π -регулярных полугрупп изоморфна прямому произведению сплетений групп.

Ключевые слова: π -регулярная полугруппа, свободное произведение, автоморфизм.

It is proved that the group of automorphisms of a free product of any π -regular semigroups is isomorphic to a direct product of wreath products of groups.

Keywords: π -regular semigroup, free product, automorphism.

1 Основные конструкции и обозначения

В этом пункте приведены основные конструкции и обозначения, которые используются в данной работе.

1.1 Пусть $T = \{S_i\}_{i \in Y}$ — семейство полугрупп S_i ($i \in Y$, Y — множество индексов) таких, что $S_i \cap S_j = \emptyset$ при $i \neq j$. Определим на множестве Fr' , которое состоит из всех таких конечных непустых последовательностей $a_1 a_2 \dots a_k$, что если $a_j \in S_{i_j}$, $1 \leq j \leq k$, то $i_j \neq i_{j+1}$, $1 \leq j \leq k-1$, операцию следующим образом:

$$a_1 a_2 \dots a_k * b_1 b_2 \dots b_s = \begin{cases} a_1 a_2 \dots a_k b_1 b_2 \dots b_s, & a_k \in S_i, b_1 \in S_j, i \neq j, \\ a_1 a_2 \dots a_{k-1} (a_k \cdot b_1) b_2 \dots b_s, & a_k, b_1 \in S_i, \cdot - \text{операция в } S_i, i \in Y. \end{cases}$$

Короткая непосредственная проверка показывает, что операция $*$ ассоциативная, то есть $(Fr', *)$ — полугруппа. Полученную полугруппу называют свободным произведением полугрупп S_i , $i \in Y$ [1]. Свободное произведение семейства T полугрупп S_i , $i \in Y$ будем обозначать через $Fr[T]$.

Принципиальная важность свободных произведений состоит в том, что любые гомоморфизмы свободных множителей в некоторую фиксированную полугруппу однозначно продолжаются до гомоморфизма свободного произведения в эту полугруппу. Очевидно, что каждый эндоморфизм φ полугруппы $Fr[T]$ однозначно определяется гомоморфизмами $\alpha_i : S_i \rightarrow Fr[T]$ ($i \in Y$). Наоборот, произвольные гомоморфизмы $\alpha_i : S_i \rightarrow Fr[T]$ ($i \in Y$) однозначно продолжаются до эндоморфизма φ полугруппы $Fr[T]$, определенного по правилу:

$$w\varphi = (s_1 s_2 \dots s_m)\varphi = s_1 \alpha_{i_1} s_2 \alpha_{i_2} \dots s_m \alpha_{i_m},$$

где $s_j \in S_{i_j}$, $j = 1, 2, \dots, m$, $w = s_1 s_2 \dots s_m \in Fr[T]$.

К полугруппам, которые раскладываются в свободные произведения, принадлежат свободные полугруппы, а именно: свободная полугруппа является свободным произведением бесконечных циклических полугрупп.

1.2 Для произвольной полугруппы T через $Aut T$ будем обозначать группу автоморфизмов полугруппы T . Если $\prod_{i \in Y} G_i$ — декартово произведение групп G_i , $i \in Y$, $a \in \prod_{i \in Y} G_i$, то через $[a]_i$ будем обозначать i -тую компоненту элемента a .

Пусть G — произвольная группа, X — произвольное непустое множество, $\mathfrak{S}[X]$ — симметрическая группа на множестве X . Через $\overline{G} = \prod_{x \in X} G_x$ обозначим декартово произведение изоморфных копий G_x группы G , индексированных элементами множества X , и построим отображение

$$\rho : \mathfrak{S}[X] \rightarrow \text{Aut } \overline{G} : \gamma \mapsto \gamma \rho = \rho_\gamma,$$

где $\rho_\gamma((a_x)) = (a_{\gamma(x)})$ для всех $(a_x) \in \overline{G}$. Непосредственно проверяется, что отображение ρ является гомоморфизмом.

На множестве $\overline{G} \times \mathfrak{S}[X]$, определив операцию по правилу

$$((a_x), \gamma_1)((b_x), \gamma_2) = ((a_x)\rho_{\gamma_1}((b_x)), \gamma_1\gamma_2),$$

получим группу, которую называют сплетением группы G с симметрической группой $\mathfrak{S}[X]$ [2] и обозначают через $G \bar{\wr} \mathfrak{S}[X]$.

1.3 Пусть I — полугруппа идемпотентов. Полугруппу $S = S^0$ называют 0-связкой полугрупп S_i , $i \in I$, если $S = \bigcup_{i \in I} S_i$, $S_\alpha \cap S_\beta = \{0\}$ при $\alpha \neq \beta$ и для любых $\alpha, \beta \in I$ имеет место условие $S_\alpha S_\beta \subseteq S_{\alpha\beta}$. Если $S_\alpha \neq \{0\}$ для любого $\alpha \in I$ и $S_\alpha S_\beta = \{0\}$ для любых разных $\alpha, \beta \in I$, то 0-связку называют ортогональной суммой полугрупп S_α , $\alpha \in I$ и обозначают $\bigcup_{\alpha \in I}^0 S_\alpha$.

1.4 Понятие мантии полугруппы впервые было определено Б. В. Новиковым в работе [3]. Напомним его определение.

Пусть S — полугруппа с нулём. Обозначим через $\bar{S}$ множество всех конечных последовательностей $(x_1, \dots, x_m)$ таких, что $x_i \in S \setminus \{0\}$ ($1 \leq i \leq m$) и $x_i x_{i+1} = 0$ ($1 \leq i < m$); таким образом, все одноэлементные последовательности, кроме (0) , содержатся в $\bar{S}$. Определим на $\bar{S}$ бинарное отношение ρ так, что

$$(x_1, \dots, x_m) \rho (y_1, \dots, y_n)$$

тогда и только тогда, когда выполняется одно из следующих условий:

1) $m = n$ и существует такое i ($1 \leq i \leq m-1$), что $x_i = y_i u$, $y_{i+1} = u x_{i+1}$ для некоторого $u \in S$ и $x_j = y_j$ при $j \neq i, j \neq i+1$;

2) $m = n+1$ и существует такое i ($2 \leq i \leq m-1$), что $x_i = uv$, $y_{i-1} = x_{i-1}u$, $y_i = v x_{i+1}$ для некоторых $u, v \in S$, $x_j = y_j$ при $1 \leq j \leq i-2$, и $x_j = y_{j-1}$ при $i+2 \leq j \leq m$.

Пусть $\bar{\rho}$ — минимальная эквивалентность, которая содержит ρ , $\tilde{S}$ — фактор-множество $\bar{S}/\bar{\rho}$. Образ в $\tilde{S}$ последовательности $(x_1, \dots, x_m) \in \bar{S}$ обозначим через $[x_1, \dots, x_m]$.

Введём на $\tilde{S}$ умножение:

$$[x_1, \dots, x_m] [y_1, \dots, y_n] = \begin{cases} [x_1, \dots, x_m y_1, \dots, y_n], & \text{если } x_m y_1 \neq 0, \\ [x_1, \dots, x_m, y_1, \dots, y_n], & \text{если } x_m y_1 = 0. \end{cases}$$

Относительно этой операции $\tilde{S}$ является полугруппой, которую называют мантией полугруппы S .

Мантию легко найти, если исходная полугруппа задана определяющими соотношениями. Будем использовать обозначение

$$S = \langle a_1, \dots, a_m | P_i = Q_i, 1 \leq i \leq n \rangle,$$

если полугруппа S порождена элементами $a_1, \dots, a_m$ и определяется равенствами $P_1 = Q_1, \dots, P_n = Q_n$. Если значение слова P_i (или, что то же самое, слова Q_i) в полугруппе S равно 0, то равенство $P_i = Q_i$ называют нулевым.

Предложение [3]. Пусть $S = \langle a_1, \dots, a_m \mid P_i = Q_i, 1 \leq i \leq n \rangle$ — полугруппа с нулём, в которой каждый из порождающих элементов не равен 0. Если отбросить все нулевые определяющие соотношения, то полученная полугруппа будет изоморфна мантии $\tilde{S}$.

2 Ортогональные суммы и свободные произведения. Автоморфизмы свободных произведений

В этом пункте при помощи понятия мантии полугруппы установлена связь между ортогональными суммами и свободными произведениями полугрупп. Описана структура групп автоморфизмов свободных произведений π -регулярных полугрупп.

2.1 Пусть I — полугруппа идемпотентов, S_i^0 ($i \in I$) — произвольные полугруппы с внешне присоединёнными нулями такие, что $S_i^0 \cap S_j^0 = \{0\}$ при $i \neq j$, $S = \bigcup_{i \in I}^0 S_i^0$ — ортогональная сумма полугрупп S_i^0 , $i \in I$ (см. п.1.3). Пусть далее $T = \{S_i\}_{i \in I}$ и $Fr[T]$ — свободное произведение полугрупп S_i , $i \in I$ (см. п.1.1).

Связь между ортогональными суммами полугрупп и свободными произведениями полугрупп устанавливает следующее предложение.

Предложение. $\tilde{S} \cong Fr[T]$.

Доказательство непосредственно следует из предложения п.1.4.

2.2 В условиях и обозначениях п. 2.1 имеет место лемма.

Лемма. Каждый автоморфизм ортогональной суммы полугрупп S_i^0 , $i \in I$ продолжается до автоморфизма свободного произведения полугрупп S_i , $i \in I$.

Доказательство. Согласно предложению п.2.1, мантия полугруппы S изоморфна полугруппе $Fr[T]$. Легко проверить, что каждый автоморфизм φ полугруппы S продолжается до автоморфизма φ' полугруппы $Fr[T]$, который определяется по правилу:

$$(s_1 s_2 \dots s_k) \varphi' = s_1 \varphi s_2 \varphi \dots s_k \varphi$$

для всех $s_1 s_2 \dots s_k \in Fr[T]$.

Лемма доказана.

Отметим, что группа автоморфизмов ортогональной суммы ортогонально неразложимых полугрупп была описана в [4].

2.3 Элемент x полугруппы M называется регулярным, если существует $a \in M$ такой, что $xax = x$. Полугруппа M называется π -регулярной [5], если для любого $g \in M$ существует натуральное число k такое, что g^k — регулярный элемент.

К π -регулярным полугруппам относятся, например, эпигруппы [6]. Эпигруппы, в свою очередь, включают инверсные полугруппы, конечные полугруппы, вполне 0-простые полугруппы, полугруппы идемпотентов и т.д.

Пусть $T = \{S_i\}_{i \in I}$ — семейство произвольных π -регулярных полугрупп S_i , $i \in I$. Имеет место лемма.

Лемма. Каждый автоморфизм свободного произведения произвольных π -регулярных полугрупп S_i , $i \in I$ индуцирует автоморфизм ортогональной суммы π -регулярных полугрупп S_i^0 , $i \in I$.

Доказательство. Пусть φ — автоморфизм полугруппы $Fr[T]$, $s \in S_i$, $i \in I$. Так как $s^m a s^m = s^m$ для некоторых $a \in S_i$, $m \in N$, то, действуя на последнее равенство автоморфизмом φ , получаем:

$$(s^m a s^m)\varphi = s^m \varphi a \varphi s^m \varphi = \underbrace{s\varphi \dots s\varphi}_{m \text{ раз}} a \varphi \underbrace{s\varphi \dots s\varphi}_{m \text{ раз}} = \underbrace{s\varphi \dots s\varphi}_{m \text{ раз}}.$$

Если длина $s\varphi$ больше единицы, то $(s\varphi)^m a \varphi (s\varphi)^m \neq (s\varphi)^m$ при любом $m \in N$. Следовательно, длина $s\varphi$ равна единице, а это означает, что $s\varphi \in S_j$ для некоторого $j \in I$.

Предполагая, что $t\varphi \in S_k$ для некоторого $t \in S_i$, $k \neq j$, получаем, что $(s \cdot t)\varphi = s\varphi t\varphi \in Fr[T] \setminus \bigcup_{i \in I} S_i$, но это противоречит предыдущей выкладке. Следовательно, $S_i\varphi \subseteq S_j$ для некоторого $j \in I$. Если теперь предположить, что $S_j = \bigcup_{i \in \Lambda} S_i\varphi$, где $\Lambda \subseteq I$, то для $y \in S_i\varphi$, $y' \in S_k\varphi$ ($i, k \in \Lambda$, $i \neq k$) получаем $y\varphi^{-1} \in S_i$, $y'\varphi^{-1} \in S_k$, что снова противоречит предыдущим рассуждениям. Следовательно, $S_i\varphi = S_j$ для некоторого $j \in I$. Таким образом, каждый автоморфизм φ полугруппы $Fr[T]$ однозначно определяется некоторыми изоморфизмами $\varphi_i^\tau : S_i \rightarrow S_{i\tau}$, где τ — подходящая биекция множества I .

Обратное утверждение следует из п. 1.1.

Определим далее преобразование φ' ортогональной суммы S π -регулярных полугрупп $S_i^0, i \in I$, полагая

$$s\varphi' = \begin{cases} s\varphi, & \text{если } s \neq 0, \\ 0, & \text{если } s = 0 \end{cases}$$

для всех $s \in S$. Непосредственно проверяется, что φ' — автоморфизм.

Лемма доказана.

2.4 Пусть $T = \{S_i\}_{i \in I}$ — семейство произвольных π -регулярных полугрупп S_i , $i \in I$, $P = \{S_i\}_{i \in I'}$ — множество всех попарно неизоморфных полугрупп семейства T . Для каждого $j \in I'$ через T_j обозначим множество всех полугрупп S_i , $i \in I$, изоморфных полугруппе S_j .

Имеет место лемма.

Лемма. $Aut Fr[T] \cong \prod_{j \in I'} Aut Fr[T_j]$.

Доказательство. Пусть η — автоморфизм полугруппы $Fr[T]$. Поскольку T — семейство π -регулярных полугрупп, то согласно доказательству леммы п.2.3 η однозначно определяется семейством $\{\eta_j\}_{j \in I'}$ автоморфизмов η_j полугрупп $Fr[T_j]$, $j \in I'$.

Для удобства автоморфизм η отождествим с набором $\{\eta_j\}_{j \in I'}$.

Определим отображение

$$\omega : Aut Fr[T] \rightarrow \prod_{j \in I'} Aut Fr[T_j] : \eta = \{\eta_j\}_{j \in I'} \mapsto \eta\omega = \tilde{\eta},$$

полагая $[\tilde{\eta}]_j = \eta_j$ для всех $j \in I'$ (см. п.1.2). По построению ω является биективным.

Кроме этого, $\tilde{\eta}\tilde{\xi} = \tilde{\eta\xi}$ для всех $\eta, \xi \in Aut Fr[T]$, поскольку $[\tilde{\eta}\tilde{\xi}]_j = (\eta\xi)_j = \eta_j\xi_j = [\tilde{\eta}]_j [\tilde{\xi}]_j$ для всех $j \in I'$.

Таким образом, ω — изоморфизм.

Лемма доказана.

2.5 В обозначениях предыдущего пункта для каждого $j \in I'$ положим $T_j = \{S_i\}_{i \in A_j}$, где $A_j \subseteq I$.

Следующая теорема описывает строение групп $Aut Fr[T_j]$, $j \in I'$ в терминах сплетений групп, определенных в п.1.2.

Теорема. $Aut Fr[T_j] \cong Aut S_j \bar{\vee} \mathfrak{S}[A_j]$, $j \in I'$.

Доказательство. Поскольку T_j — семейство π -регулярных полугрупп, то каждый автоморфизм ψ полугруппы $Fr[T_j]$ однозначно определяется множеством $\{\psi_i^\delta\}_{i \in A_j}$ изоморфизмов $S_i \rightarrow S_{i\delta}$ ($i \in A_j$), где δ — некоторая биекция множества A_j (см. п.2.3).

Аutomорфизм ψ отождествим с $\{\psi_i^\delta\}_{i \in A_j}$. Далее для всех $i, l \in A_j$ зафиксируем такие изоморфизмы $f^{(i,l)} : S_i \rightarrow S_l$, что $f^{(i,i)}$ — тождественные автоморфизмы, $i \in A_j$, и выполняется условие: $f^{(i,l)} f^{(l,i)} = f^{(i,i)}$. Определим отображение

$$\theta : Aut Fr[T_j] \rightarrow Aut S_j \bar{\imath} \mathfrak{S}[A_j] : \psi = \{\psi_i^\delta\}_{i \in A_j} \mapsto \psi\theta = (\bar{\psi}, \delta),$$

полагая $[\bar{\psi}]_i = f^{(j,i)} \psi_i^\delta f^{(i\delta,j)}$ для всех $i \in A_j$ (см. п.1.2). Покажем, что θ — гомоморфизм.

Если $\lambda = \{\lambda_i^\sigma\}_{i \in A_j} \in Aut Fr[T_j]$ (λ определяется биекцией σ), то $\lambda\theta = (\bar{\lambda}, \sigma)$, а

$$\psi\lambda = \{\psi_i^\delta\}_{i \in A_j} \{\lambda_i^\sigma\}_{i \in A_j} = \{\mu_i^{\delta\sigma}\}_{i \in A_j} = \mu,$$

где $\mu_i^{\delta\sigma} = \psi_i^\delta \lambda_{i\delta}^\sigma$ для всех $i \in A_j$. Тогда $\mu\theta = (\bar{\mu}, \delta\sigma)$, причём $[\bar{\mu}]_i = f^{(j,i)} \mu_i^{\delta\sigma} f^{(i\delta\sigma,j)}$, $i \in A_j$.

Далее, перемножая $\psi\theta$ и $\lambda\theta$, получаем:

$$(\psi\theta)(\lambda\theta) = (\bar{\psi}, \delta)(\bar{\lambda}, \sigma) = (\bar{\psi} \rho_\delta(\bar{\lambda}), \delta\sigma),$$

где

$$\begin{aligned} [\rho_\delta(\bar{\lambda})]_i &= [\bar{\lambda}]_{i\delta}, i \in A_j, \\ [\bar{\psi} \rho_\delta(\bar{\lambda})]_i &= [\bar{\psi}]_i [\rho_\delta(\bar{\lambda})]_i = [\bar{\psi}]_i [\bar{\lambda}]_{i\delta} = \\ &= f^{(j,i)} \psi_i^\delta f^{(i\delta,j)} f^{(j,i\delta)} \lambda_{i\delta}^\sigma f^{(i\delta\sigma,j)} = f^{(j,i)} \psi_i^\delta f^{(i\delta,i\delta)} \lambda_{i\delta}^\sigma f^{(i\delta\sigma,j)} = \\ &= f^{(j,i)} \psi_i^\delta \lambda_{i\delta}^\sigma f^{(i\delta\sigma,j)}, i \in A_j. \end{aligned}$$

Сравнивая $[\bar{\psi} \rho_\delta(\bar{\lambda})]_i$ с $[\bar{\mu}]_i$ при всех $i \in A_j$, устанавливаем, что $(\psi\lambda)\theta = (\psi\theta)(\lambda\theta)$, откуда θ — гомоморфизм.

Пусть $\psi \neq \lambda$. Если $\delta \neq \sigma$, то очевидно, что $\psi\theta \neq \lambda\theta$. Предположим, что $\delta = \sigma$. Тогда $\psi_i^\delta \neq \lambda_i^\delta$ для некоторого $i \in A_j$. Это, в свою очередь, означает, что $f^{(j,i)} \psi_i^\delta f^{(i\delta,j)} \neq f^{(j,i)} \lambda_i^\delta f^{(i\delta,j)}$, то есть $[\bar{\psi}]_i \neq [\bar{\lambda}]_i$ для некоторого $i \in A_j$ и, следовательно, $\psi\theta \neq \lambda\theta$.

Кроме этого, для произвольного элемента $(\beta, t) \in Aut S_j \bar{\imath} \mathfrak{S}[A_j]$ существует такой автоморфизм $d = \{d_i^t\}_{i \in A_j} \in Aut Fr[T_j]$, что $d_i^t = f^{(i,j)} [\beta]_i f^{(j,it)}$ для всех $i \in A_j$. Тогда $d\theta = (\beta, t)$. Таким образом, θ — биекция.

Теорема доказана.

2.6 Из результатов пунктов 2.4, 2.5 следует основной результат работы:

Теорема. Группа автоморфизмов $Aut Fr[T]$ свободного произведения семейства T произвольных π -регулярных полугрупп S_i , $i \in I$ изоморфна прямому произведению $\prod_{j \in I'} Aut S_j \bar{\imath} \mathfrak{S}[A_j]$ сплетений групп автоморфизмов $Aut S_j$ полугрупп S_j с симметрическими группами $\mathfrak{S}[A_j]$ на множествах A_j , $j \in I'$.

Этот результат был анонсирован в [7].

2.7 Из теоремы п.2.6 получаем следствие.

Следствие. Группа автоморфизмов свободного произведения одноэлементных полугрупп изоморфна симметрической группе на множестве одноэлементных полугрупп.

Литература

1. Клиффорд, А. Алгебраическая теория полугрупп / А. Клиффорд, Г. Престон // М.: Мир. — 1972. — Т.2. — 422 с.
2. 2. Курош, А.Г. Теория групп / А. Г. Курош // 3-е изд. М.: Наука. — 1967. — 648 с.

3. Новиков, Б. В. Определяющие соотношения и 0-модули над полугруппой / Б. В. Новиков // В кн.: “Теория полугрупп и ее прилож. Полиадич. полугруппы. Полугруппы преобразований”. Изд-во Саратов. ун-та. — 1983. — С. 94–99.
4. Жучок, А.В. Групи автоморфізмів ортогональних сум напівгруп / А. В. Жучок // Доповіді НАН України. — № 6. — 2011. — С. 12–16.
5. Bognanović, S. Polugrupe / S. Bognanović, M. Ćirić // Prosveta. Niš. — 1993.
6. Шеврин, Л. Н. К теории эпигрупп. I / Л. Н. Шеврин // Матем. сб. — 185 (8). — 1994. — С. 129–160.
7. Zhuchok, A.V. Automorphism groups of free product of π -regular semigroups / A. V. Zhuchok // XII International Conference on Representations of Algebras and Workshop, Torun, Poland. — 2007. — P. 77–78.

Киевский национальный университет
имени Тараса Шевченко
E-mail: zhuchok_a@mail.ru

Поступило 26.03.11

УДК 681.3.06:624.131

Приближённый аналитический метод расчёта осадки фундаментной плиты на реологическом нелинейно-деформируемом грунтовом основании

В. Е. БЫХОВЦЕВ, В. В. БОНДАРЕВА

В работе предлагается оригинальный приближённый аналитический метод учёта консолидации нелинейно-деформируемых грунтовых оснований.

Ключевые слова: нелинейно-деформируемые грунтовые основания.

The article offers an original approximate analytical method for the account of nonlinear deformable subgrade consolidation.

Keywords: nonlinear deformable subgrade consolidation.

Структура и свойства грунтовых оснований

По своей структуре и физико-механическим свойствам грунты являются сложными телами, которые включают в себя твёрдую, жидкую и газообразную фазы. Твёрдая фаза грунта (скелет) представляет собой пористую среду. Поры между твёрдыми частицами в грунте заполнены жидкостью (вода и водные растворы) и газом (воздух). Распределение нагрузок в толще грунтов и их сопротивление внешним силам обусловлено силами сцепления и трения частиц грунта, а также сжатием поровой воды и её отжатием из пор. Сами частицы при этом практически не сжимаются, происходит только их сдвиг, вследствие чего уменьшаются поры в определённом объеме, и происходит сжатие и фильтрация поровой воды (поровая вода – это вода с пузырьками воздуха). Указанные механические процессы обуславливают уплотнение грунта во времени – консолидацию. Фильтрационная консолидация оказывает значительное влияние на скорость нарастания деформации грунта под нагрузкой и поэтому не может рассматриваться отдельно от ползучести частиц, слагающих грунт. Степень общей консолидации грунта при действии на него внешней нагрузки определяет осадку фундамента на грунтовом основании [1-7].

О консолидации грунтовых оснований

По вопросам консолидации грунтов имеется обширная литература [2–4, 7, 8]. Здесь мы отметим некоторые положения этой теории, необходимые при разработке алгоритма определения реологических деформаций грунтов.

Физические аспекты консолидации грунтов при приложении внешней нагрузки содержат следующие процессы: *мгновенное сжатие*; *фильтрационное уплотнение*, обусловленное выжиманием воды из пор и её фильтрацией; *вторичная консолидация*, иначе *ползучесть* скелета грунта, обусловленная невосстанавливающимися *сдвигами* частиц и их агрегатов.

В настоящее время существует несколько подходов к определению деформаций грунтов. В зависимости от конкретных условий применяют [2, 3, 8]

- теорию ползучести,
- теорию ползучести с одновременным учётом фильтрационной консолидации,
- теорию ползучести с одновременным учётом фильтрационной консолидации и сжимаемости поровой воды.

В исследованиях ряда специалистов отмечается большое значение *одновременного учёта ползучести скелета грунта и сжимаемости поровой воды* в процессе консолидации грунтов. В современной литературе термин «ползучесть» часто заменяют термином «вязко-

упругость».

Математическое моделирование деформаций грунтовых оснований

Грунты деформируются как нелинейно-упруго-пластические тела: вначале имеется почти линейный участок, потом нелинейный и далее пластическое состояние [2, 3, 5, 7, 9, 10]. Уравнение состояния элементов структуры (слоев, включений и т.п.) грунтового основания при линейно-упругой стадии работы имеет однозначное представление

$$\sigma_i = E \varepsilon_i. \quad (2)$$

В этом случае достаточно двух физико-механических характеристик: E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона. Существует несколько хорошо отработанных методик их определения.

Для сложного напряженного состояния механико-математическая модель в общем виде может быть представлена так:

$$\sigma_i = E(\varepsilon_i) \varepsilon_i. \quad (3)$$

Для грунтов в настоящее время существует ряд конкретных форм закона деформирования. Наиболее простой из них и достаточно хорошо аппроксимирующей экспериментальные зависимости является степенная функция

$$\sigma_i = A \varepsilon_i^m. \quad (4)$$

Параметры A и m определяются экспериментально.

Повышение точности решения задач по расчету нелинейных деформаций может быть получено при применении модели закона деформирования в форме

$$\sigma_i^H = A \varepsilon_i^H - B(\varepsilon_i^H)^m; A > 0; m > 1, B > 0. \quad (5)$$

В соответствии с экспериментальными данными С. Р. Месчана [8] предполагается, что скелет грунта изменяется в соответствии с законом линейной наследственной ползучести Больцмана – Вольтерры. Уравнение состояния в интегральной форме для среды, подчиняющейся этой теории, имеет следующий вид [1, 2, 8, 10]:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E_0} \left[\sigma(t) + \int_0^t K(t, \tau) \sigma(\tau) d\tau \right], \quad (6)$$

где $K(t, \tau)$ – функция, называемая **ядром ползучести**. Эта функция характеризует собой реологические свойства рассматриваемой среды. Ядро $K(t, \tau)$ является положительной монотонно убывающей функцией своих аргументов: σ – полное напряжение; ε – деформация; E_0 – начальный модуль деформации.

Если деформация $\varepsilon(t)$ известна, то уравнение (6) должно решаться относительно напряжения $\sigma(t)$. В этом случае интегральное уравнение второго порядка Вольтерры получает следующий вид:

$$\sigma(t) = E_0 \left[\varepsilon(t) - \int_0^t R(t, \tau) \varepsilon(\tau) d\tau \right], \quad (7)$$

где $R(t, \tau)$ – функция, называемая **ядром релаксации** материала. Она является *резольвентой ядра ползучести*.

Теория ползучести, характеризуемая интегралом связи типа (6), носит наименование теории наследственности, так как она исходит из принципа соучастия предшествовавшего напряженного состояния и его влияния на действительное состояние. *Теория наследственной*

ползучести включает в себя все теории, базирующиеся на линейных реологических моделях.

Для внесения ясности в представление о природе ядра ползучести $K(t, \tau)$ необходимо напряжение в уравнении (6) принять постоянным, т.е.

$\sigma(\tau) = \sigma_0 = \text{const}$ и продифференцировать обе части уравнения по t :

$$\frac{1}{E_0} K(t) = \frac{1}{\sigma_0} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (8)$$

Тогда функция $K(t)$ будет соответствовать скорости ползучести при единичной нагрузке, увеличенной в E_0 раз.

Особые формы ядра ползучести имеют следующий вид:

1) для реологической модели Кельвина

$$K(t - \tau) = \delta \cdot \exp[-\delta_1 (t - \tau)], \quad (9)$$

2) для логарифмического закона вторичной компрессии

$$K(t - \tau) = \frac{\delta}{(t - \varepsilon)^\gamma} \text{ при } 0 < \gamma < 1, \quad (10)$$

3) для комбинации из приведенных выше видов:

$$K(t - \tau) = \frac{\delta \cdot \exp[-\delta_1 (t - \tau)]}{(t - \varepsilon)^\gamma} \text{ при } 0 < \gamma < 1, \quad (11)$$

где δ – коэффициент ядра ползучести, δ_1 – коэффициент затухания ползучести. Эти коэффициенты определяются опытным путём в течение нескольких дней.

В дальнейших исследованиях в настоящей работе ядро ползучести строится в соответствии с реологической моделью Кельвина

$$K(t, \tau) = \delta e^{-\delta_1 (t - \tau)}. \quad (12)$$

Интегральная форма уравнения деформирования в настоящей работе принята определяющей.

Методы определения реологических деформаций грунтовых оснований

Реологические линейно-упругие деформации грунтовых оснований

Деформации грунтового основания большеразмерной фундаментной плиты, нагруженной равномерной нагрузкой, имеют одну очень существенную особенность: горизонтальные составляющие перемещения в любых горизонтальных плоскостях в плане плиты значительно меньше вертикальной компоненты. Физически это легко обосновывается исходя из правила сложения векторов перемещений от действия системы сосредоточенных сил. Теоретически равенство нулю горизонтальных перемещений точек полупространства, нагруженного равномерной внешней нагрузкой, можно доказать используя решение Буссинеска задачи о действии сосредоточенной силы на поверхности этого полупространства. В механике грунтов аналитическое решение задачи об осадке нагруженного слоя однородного грунта используется для решения отдельных задач. Для вертикальной компоненты вектора перемещения, т.е. для осадки равномерно нагруженного слоя однородного грунтового основания, получено следующее выражение [5]:

$$W = H \cdot \beta_\Gamma \cdot q_\Gamma / E_\Gamma, \quad (13)$$

где $\beta_\Gamma = 1 - 2\mu_\Gamma^2 / (1 - \mu_\Gamma)$, H – мощность деформируемой области, q_Γ – удельная нагрузка на поверхность грунтового основания, μ_Γ – коэффициент Пуассона для грунтового основания,

E_{Γ} – модуль деформации грунта.

Это решение имеет место только для однородного основания. Однако приведенная формула может быть применена и к расчёту многослойных оснований, в частности могут быть грунтовые слои с меловыми отложениями. Для этого необходимо рассматриваемому основанию поставить в соответствие однородное основание, геометрически равное исходному, но с модулем деформации и коэффициентом Пуассона такими, чтобы осадки загруженного слоя в обоих случаях были практически равными. Из физического анализа рассматриваемого класса задач следует, что эквивалентный модуль деформации моделируемого однородного основания будет зависеть от метрических и физико-механических параметров слоёв различной несущей способности и глубины их залегания. Следует также отметить, что в строительных нормах и правилах для задач рассматриваемого класса рекомендуется находить средневзвешенное значение модуля деформации. Это значит, что при наличии слоёв пониженной или повышенной несущей способности глубина их залегания не учитывается, вносимая при этом погрешность в расчётах значительная. Поэтому необходимо учитывать не только мощность аномального слоя, но и глубину его залегания. Приведенное решение может быть использовано для определения осадок жестких большеразмерных плит при действии на них равномерно распределённой внешней нагрузки. Но при этом необходимо учесть конечность размеров плиты, а рассматриваемое решение, как уже было указано, получено для условия равномерной загрузки всей поверхности полупространства. Методом компьютерного объектно-ориентированного моделирования были исследованы указанные особенности при определении осадок жестких большеразмерных плит при действии на них равномерно распределённой внешней нагрузки. На основании результатов этого исследования для определения эквивалентного модуля деформации предлагается следующий алгоритм:

$$E_{\text{экв}} = \left[1 - 1,5 \mu_{\epsilon} \left(\frac{\Delta h}{\Delta H} \right)^{1-\mu_{\epsilon}} \right] E_{\text{ср}}, \Delta H > 0,$$

$$E_{\text{ср}} = \sum \Delta h_j * E_j / \sum \Delta h_j, i \neq j; \quad \mu_{\text{ср}} = \sum \Delta h_j * \mu_j / \sum \Delta h_j, i \neq j,$$

где $E_{\text{ср}}$ – средний модуль деформации основания без учёта слабого слоя, $E_{\text{экв}}$ – эквивалентный модуль деформации грунтового основания, ΔH – расстояние слабого слоя грунта от подошвы фундаментной плиты, при этом всегда $\Delta H > 0$, Δh , Δh_j – мощность слабого и других слоёв грунта, E_i , E_j – модуль деформации слабого и других слоёв грунта, $\mu_{\text{ср}}$, $\mu_{\text{экв}}$ – средний и эквивалентный коэффициенты Пуассона, μ_{ϵ} – коэффициент Пуассона для выделяемого слоя.

При отсутствии выделяемого слоя грунта в толще грунтового основания $\Delta h = 0$ и, следовательно, $E_{\text{экв}} = E_{\text{ср}}$.

Коэффициент Пуассона $\mu_{\text{экв}}$ определим исходя из закона изменения объема, согласно которому модуль объемной деформации остается постоянной величиной, как в пределах, так и за пределами упругости:

$$\frac{E_{\text{ср}}}{1-2\mu_{\text{ср}}} = \frac{E_{\text{экв}}}{1-2\mu_{\text{экв}}}, \text{ откуда следует } \mu_{\text{экв}} = 0,5 - (0,5 - \mu_{\text{ср}}) \frac{E_{\text{экв}}}{E_{\text{ср}}}.$$

Аналогично может рассматриваться любой аномальный слой.

При аналитическом определении осадки жесткой большеразмерной плиты на грунтовом основании, содержащем аномальный слой, необходимо ввести ещё дополнительный коэффициент формы загруженной площадки $\beta_{\text{ф}} = 2\mu_{\text{экв}}$. Таким образом, для определения осадки жесткой фундаментной плиты получим следующее приближённое аналитическое выражение:

$$W = \beta_{\text{ЭКВ}} \cdot q \cdot H / E_{\text{ЭКВ}} = \beta_{\text{ЭКВ}} \frac{P H}{E_{\text{ЭКВ}} S}, \quad (14)$$

где $\beta_{\text{ЭКВ}} = \beta_{\Gamma} \cdot \beta_{\Phi}$, q – удельная нагрузка на плиту, S – площадь плиты.

Компьютерное объектно-ориентированное моделирование деформаций основания большеразмерной фундаментной плиты при равномерной нагрузке на плиту для условий линейно-упругого, нелинейно-упругого и вязкоупругого деформирования грунта показало, что горизонтальные составляющие перемещения в любых горизонтальных плоскостях в плане плиты значительно меньше вертикальной компоненты: $u = 0$, $v = 0$, $w \neq 0$; где u , v , w – горизонтальные и вертикальная составляющие вектора перемещения. Отсюда следует, что компоненты вектора деформаций будут равны

$$\varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x} = 0, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial V}{\partial y} = 0, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial W}{\partial z} \neq 0, \quad \theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{\partial W}{\partial z} \neq 0. \quad (15)$$

Для анализа сдвиговых деформаций воспользуемся уравнениями равновесия в перемещениях, уравнениями Ламе [1], при статической нагрузке и без учёта массовых сил:

$$\left. \begin{aligned} (\lambda + G) \frac{\partial \theta}{\partial x} + G \nabla^2 U &= 0, \\ (\lambda + G) \frac{\partial \theta}{\partial y} + G \nabla^2 V &= 0, \\ (\lambda + G) \frac{\partial \theta}{\partial z} + G \nabla^2 W &= 0. \end{aligned} \right\}.$$

Эти уравнения при учёте (15) преобразуются к виду

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial x} &= \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} = 0, \\ \frac{\partial \theta}{\partial y} &= \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} = 0, \\ \frac{\partial \theta}{\partial z} &= \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Отсюда следует, что вертикальное перемещение W в плане большеразмерной фундаментной плиты не зависит от горизонтальных координат x и y . Следовательно, сдвиговые деформации будут равны:

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} = 0; \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y} = 0; \quad \gamma_{zx} = \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial z} = 0.$$

Из последнего уравнения группы (16) следует

$$\frac{\partial W}{\partial z} = c_0, \quad (17)$$

откуда $W = \int_0^H c_0 dz + c_1 = c_0 \cdot H$, т. к. $c_1|_{z=0} = 0$.

При линейно-упругом деформировании значение константы c_0 может быть определено исходя из решения Буссинеска [5], будем иметь

$$c_0 = \beta \frac{P}{E S} \quad (18)$$

В итоге получим выражение для определения осадки большеразмерной фундаментной плиты на упругом основании

$$W^e = \beta \frac{P}{E S} H, \quad (19)$$

что полностью соответствует (13).

Для сложного реологического линейно-упругого основания необходимо определять $E_{\text{экв}}$ и далее, согласно принципу Вольтерры и принятой формы ядра ползучести (12) в выражении (14), величину $\frac{1}{E_{\text{экв}}}$ необходимо заменить на величину $\frac{1}{E_{\text{экв}}} (1+K) = \frac{1}{E_{\text{экв}}} [1 + \frac{\delta_1}{\delta} (1 - \delta e^{-\delta_1 t})]$.

Таким образом, для определения осадки большеразмерного плитного фундамента на реологическом линейно-упругом основании будем иметь следующее приближённое выражение

$$W_t^e = \frac{P H}{E_{\text{экв}} S} \beta_{\text{экв}} [1 + \frac{\delta_1}{\delta} (1 - \delta e^{-\delta_1 t})], \quad (20)$$

где δ, δ_1 – экспериментальные величины.

Реологические нелинейно-упругие деформации грунтовых оснований

Между интенсивностями деформаций при условии линейного и нелинейного деформирования твёрдого тела и при законе деформирования в виде степенной функции устанавливается следующая связь [9]:

$$\varepsilon_i^H = \left(\frac{1+m}{2A} E_o \varepsilon_i^e \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (21)$$

где A, m – параметры уравнения состояния деформируемой среды: $\sigma_i^H = A(\varepsilon_i^H)^m$,

$$\varepsilon_i^e = \frac{\sqrt{2}}{2(1+\mu)} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + \frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)}. \quad (22)$$

Для рассматриваемой задачи из (21) при учёте (15, 16, 22) будем иметь

$$\frac{\partial W^H}{\partial z} = \left(\frac{1+m}{2(1+\mu)} \cdot \frac{E}{A} \right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{\partial W^e}{\partial z} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (23)$$

индексы e и H – признаки линейного и нелинейного деформирования.

Интегрируя (23) при учёте (17) и (18), получим

$$W^H = \left(\frac{1+m}{2(1+\mu)} \cdot \frac{E}{A} \right)^{\frac{1}{m}} \int_0^H c_0^{\frac{1}{m}} dz = \left[\frac{1+m}{2(1+\mu)} \cdot \frac{\beta P}{A S} \right]^{\frac{1}{m}} \cdot H. \quad (24)$$

Таким образом, осадка большеразмерной фундаментной плиты на нелинейно-деформируемом однородном основании нелинейно зависит от нагрузки, что полностью соответствует многочисленным экспериментальным данным.

Для сложного реологического основания необходимо определять $A_{\text{экв}}$ и далее, согласно принципу Вольтерры, в выражении (24) величину $\frac{1}{A_{\text{экв}}}$ необходимо заменить на величину

$$\frac{1}{A_{\text{экв}}} (1+K) = \frac{1}{A_{\text{экв}}} \left[1 + \frac{\delta_1}{\delta} (1 - \delta e^{-\delta_1 t}) \right].$$

Таким образом, для определения осадки плитного фундамента на реологическом основании будем иметь следующее приближённое аналитическое выражение (инженерный метод):

$$W^H = \left[\frac{1+m}{2(1+\mu)} \cdot \frac{\beta P}{A_{\text{экв}} S} \left[1 + \frac{\delta_1}{\delta} (1 - \delta e^{-\delta_1 t}) \right] \right]^{\frac{1}{m}} \cdot H. \quad (25)$$

Оценку точности полученных формул проведём на примере конкретных задач.

Исследования реологических деформаций грунтовых оснований

Модельная задача № 1

На плитный фундамент размером 20м на 30м и толщиной 0.4м действует равномерно распределённая нагрузка интенсивностью $q = 114 \text{ кПа}$. Модуль упругости плиты $E = 27 \cdot 10^3 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,29$. Грунтовое основание представляет собой слой мергеля мощностью 6.5м. Ядро релаксации имеет вид (12), где $\delta = 0,5 \text{ 1/сут}$, $\delta_1 = 0,1 \text{ 1/сут}$, $E = 9 \text{ МПа}$, $\mu = 0,4$.

При решении задачи методом конечных элементов рассматриваемая область дискретизировалась 7200 конечными элементами в форме треугольников. Временной шаг выбирался равный 0,5 суткам. Время нахождения решения на отрезке от 0 до 1000 суток составило менее 30 секунд. Стабилизированная осадка 5.55 см приходится на точку 395 суток [10].

Определим осадки, используя приближённые аналитические решения.

а) Грунтовое основание рассматривается как линейно-упругая среда: мощность слоя $H = 6.5 \text{ м}$, $E = 9 \text{ МПа}$, $\mu = 0,4$, удельная нагрузка $q = 114 \text{ кПа}$.

Воспользуемся формулой (19)

$$W^e = \beta \frac{P}{E S} H, \text{ где } \beta = 1 - 2\mu^2 / (1-\mu), \frac{P}{S} = q.$$

Произведя вычисления, получим $W^e = 3.87 \text{ см}$.

б) Грунтовое основание рассматривается как нелинейно-упругая среда при приведенных характеристиках. Закон деформирования примем в форме степенной функции: $\sigma_i = A \varepsilon_i^m$, $A > 0$, $0 < m < 1$. Параметры закона деформирования определены по приближённым формулам [9], получено $m = 0.33$, $A = 1.3$. Произведя вычисления по формуле (24) получим $W^H = 4.87 \text{ см}$.

в) Грунтовое основание рассматривается как реологическая линейно-упругая среда при приведенных характеристиках.

Вычисления проведём по формуле (20). В этой формуле δ , δ_1 – экспериментальные величины, при этом получено $\delta = 0.5$, $\delta_1 = 0.1$. Стабилизированная осадка $W_t^e = 5.45 \text{ см}$. при $t \approx 2$ года.

г) Грунтовое основание рассматривается как реологическая нелинейно-упругая среда при приведенных характеристиках.

Вычисления проведём по формуле (25). В этой формуле δ , δ_1 – экспериментальные величины, при этом получено $\delta = 0.4$, $\delta_1 = 0.1$. Стабилизированная осадка $W_t^H = 5.8 \text{ см}$. при $t \approx 0.5$ года.

Модельная задача № 2

На плитный фундамент площадью $S = 5000 \text{ см}^2$ действует равномерно распределённая нагрузка интенсивностью $q = 0.15 \text{ МПа}$. Грунтовое основание содержит меловые отложения с характеристиками $E = (12-15) \text{ МПа}$, $\mu = 0,4$.

Ядро релаксации примем в виде (12), где $\delta = 0,4 \text{ 1/сут}$, $\delta_1 = 0,1 \text{ 1/сут}$. Необходимо исследовать осадку плиты во времени при указанной нагрузке. Решение задачи выполним, используя полученные приближённые аналитические решения. Мощность деформируемого слоя принята $H = 2L = 200 \text{ см}$ ($L = 100 \text{ см}$ по условию).

а) Грунтовое основание рассматривается как линейно-упругая среда. Воспользуемся формулой (19)

$$W^e = \beta \frac{q}{E} H, \text{ где } \beta = 1 - 2\mu^2 / (1-\mu), H = 200 \text{ см.}$$

Произведя вычисления, получим $W^e = 0.59 \text{ см}$.

б) Грунтовое основание рассматривается как нелинейно-упругая среда при приведенных характеристиках. Закон деформирования примем в форме степенной функции: $\sigma_i = A \varepsilon_i^m$, $A > 0$, $0 < m < 1$. Параметры закона деформирования определены по приближённым формулам [9], получено $m = 0.33$, $A = 0.98$. Произведя вычисления по формуле (24)

$$W^H = \left[\frac{1+m}{2(1+\mu)} \cdot \frac{\beta P}{A_{\text{экв}} S} \right]^{\frac{1}{m}} \cdot H,$$

получим $W^H = 0.81 \text{ см}$.

в) Грунтовое основание рассматривается как реологическая линейно-упругая среда при приведенных характеристиках.

Вычисления проведём по формуле (20)

$$W_t^e = \frac{P H}{E_{\text{экв}} S} \beta_{\text{экв}} \left[1 + \frac{\delta_1}{\delta} (1 - \delta e^{-\delta_1 t}) \right].$$

В этой формуле δ , δ_1 – экспериментальные величины, при этом получено $\delta = 0.5$, $\delta_1 = 0.1$. Стабилизированная осадка $W_t^e = 0.68 \text{ см}$. при $t \approx 2$ года.

г) Грунтовое основание рассматривается как реологическая нелинейно-упругая среда при приведенных характеристиках.

Вычисления проведём по формуле (25)

$$W^H = \left[\frac{1+m}{2(1+\mu)} \cdot \frac{\beta P}{A_{\text{экв}} S} \left[1 + \frac{\delta_1}{\delta} (1 - \delta e^{-\delta_1 t}) \right] \right]^{\frac{1}{m}} \cdot H.$$

В этой формуле δ , δ_1 – экспериментальные величины, при этом получено $\delta = 0.5$, $\delta_1 = 0.1$. Стабилизированная осадка $W_t^H = 0.95 \text{ см}$. при $t \approx 2$ года.

Сравнительный анализ деформаций реологических грунтовых оснований теоретическими и экспериментальными методами

Вследствие анализа результатов решения модельных задач можно сделать следующие выводы:

1 Решение модельной задачи №1, полученное по разработанным формулам, хорошо согласуется с решением, полученным методом компьютерного моделирования.

2 Решение модельной задачи №2, полученное по разработанным формулам, хорошо

согласуется с результатами соответствующего натурного эксперимента, полученными в отделе оснований и фундаментов РУП «БелНИИС».

В целом, анализ результатов исследования деформаций реологических линейно-упругих и нелинейно-упругих грунтовых оснований показывает возможность практического применения разработанного приближённого аналитического метода для расчёта осадок фундаментов на реологическом грунтовом основании.

Заключение

В настоящей работе методами натурного физического эксперимента и математического моделирования определена система исследования, проведен анализ элементов её структуры, построена математическая модель грунтовых оснований как реологической системы, разработан приближённый аналитический метод её исследования. Для учета консолидации грунтовых оснований использована интегральная форма закона деформирования. Полученные результаты могут быть использованы при расчетах осадок плитных фундаментов на реологических грунтовых основаниях произвольной структуры.

Литература

1. Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В.Д. Потапов – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.
2. Вялов, С. С. Реологические основы механики грунтов / С. С. Вялов. – М: Высшая школа, 1978. – 446 с.
3. Шукле, Л. Реологические проблемы механики грунтов / Л. Шукле. – М: Стройиздат, 1976. – 486 с.
4. Рейнер, М. Реология / М. Рейнер. – М: Наука, 1965. – 280 с.
5. Цытович, Н. А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М: ВШ, 1973. – 280 с.
6. Старовойтов, Э. И. Основы теории упругости, пластичности и вязкоупругости / Э. И. Старовойтов – Гомель: БелГУТ, 2001. – 344 с.
7. Журавков, М. А. Математическое моделирование деформационных процессов в твёрдых деформируемых средах / М. А. Журавков. – Мн.: БГУ, 2002. – 456 с.
8. Фадеев, А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А. Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 224 с.
9. Быховцев, В. Е. Компьютерное моделирование систем нелинейной механики грунтов / В.Е. Быховцев, А. В. Быховцев, В.В. Бондарева. – Гомель: УО «ГГУ им.Ф.Скорины», 2002. – 215 с.
10. Быховцев, В. Е. Интегральный метод построения математической модели и алгоритма исследования вязкоупругих деформаций грунтовых оснований / В. Е. Быховцев, К. С. Курочка, В. Е. Сеськов // Вестник БНТУ. – 2008. – № 4. – С. 17 – 24.

УДК 512.542

Конечные группы с m -добавляемыми максимальными подгруппами силовских подгрупп

В. А. ВАСИЛЬЕВ

В работе используются обобщенные модулярные подгруппы конечных групп для получения критерия принадлежности группы композиционной (разрешимо насыщенной) формации.

Ключевые слова: конечная группа, модулярная подгруппа.

The article uses the generalized modular subgroups of finite groups to obtain the criterion of membership of a composition (soluble saturated) formation group.

Keywords: finite group, modular subgroup.

1 Введение

Все рассматриваемые в данной работе группы конечны. Напомним, что подгруппа M группы G называется модулярной подгруппой в G , если выполняются следующие условия:

- (1) $\langle X, M \cap Z \rangle = \langle X, M \rangle \cap Z$ для всех $X \leq G, Z \leq G$ таких, что $X \leq Z$;
- (2) $\langle M, Y \cap Z \rangle = \langle M, Y \rangle \cap Z$ для всех $Y \leq G, Z \leq G$ таких, что $M \leq Z$.

Отметим, что модулярная подгруппа является модулярным элементом (в смысле Куроша, [1, гл. 2, стр. 43]) решетки всех подгрупп группы. Понятие модулярной подгруппы впервые анализировалось в работе Р. Шмидта [2] и оказалось полезным в вопросах классификации составных групп. В частности, в монографии Р. Шмидта [1, гл. 5] модулярные подгруппы были использованы для получения новых характеристик различных классов групп. Подгруппа, порожденная двумя модулярными подгруппами, сама является модулярной подгруппой (см. гл. 5, раздел 5.1 в [1]). Таким образом, каждая подгруппа H группы G обладает наибольшей содержащейся в ней модулярной подгруппой H_{mG} группы G . Назовем подгруппу H_{mG} модулярным ядром подгруппы H . Базируясь на понятии модулярного ядра, введем следующее обобщение понятия модулярной подгруппы.

Определение 1.1. Подгруппу H группы G назовем m -добавляемой в G , если в G существует такая подгруппа K , что $G = HK$ и $H \cap K \leq H_{mG}$.

Легко видеть, что всякая модулярная подгруппа является m -добавляемой и, в то же время, существуют группы, в которых класс m -добавляемых подгрупп шире, чем класс всех её модулярных подгрупп.

Подгруппа A группы G называется квазинормальной (Оре [3]) или перестановочной (Стоунхьюер [4]) в G , если $AB = BA$ для всех $B \leq G$. Квазинормальные подгруппы обладают многими интересными свойствами, в частности, если A — квазинормальная подгруппа группы G , то $A^G/A_G \leq Z_\infty(G/A_G)$ [5], т.е. каждый главный фактор группы G/A_G ниже A^G/A_G является центральным.

Согласно [1, гл. 5, теорема 5.1.1], подгруппа A является квазинормальной в группе G тогда и только тогда, когда A субнормальна в G и является модулярной подгруппой в G . Оказалось, что если подгруппа A модулярна в G , то каждый главный фактор группы G/A_G ниже A^G/A_G является циклическим [1, гл. 5, теорема 5.2.5].

Дополняя эти результаты, в данной работе докажем следующую теорему.

Теорема 1.2. Пусть E — нормальная подгруппа группы G . Если максимальные подгруппы каждой силовской подгруппы из E являются m -добавляемыми в G , то каждый главный фактор группы G ниже E является циклическим.

Доказательство этой теоремы приведено в разделе 3. В разделе 4 данной работы рассматриваются приложения этой теоремы. Используемая в статье терминология стандартна, при необходимости можно обратиться к монографиям [6–8].

2 Некоторые предварительные результаты

Следующие известные свойства модулярных подгрупп будут использованы в данной работе.

Лемма 2.1 [1, гл. 5, раздел 5.1]. Пусть G — группа. Тогда справедливы следующие утверждения:

- (а) если M_1 и M_2 являются модулярными в G подгруппами, то $\langle M_1, M_2 \rangle$ — модулярная в G подгруппа;
- (б) если N — нормальная в G подгруппа, то N является модулярной в G подгруппой;
- (с) если N — нормальная в G подгруппа и M — модулярная в G подгруппа, то MN/N — модулярная в G/N подгруппа;
- (d) если $N \leq M \leq G$, N нормальна в G и M/N модулярна в G/N , то M модулярна в G ;
- (е) если $M \leq M_1 \leq G$ и M модулярна в G , то M модулярна в M_1 ;
- (f) если φ — изоморфизм группы G на группу $\bar{G}$ и M модулярна в G , то M^φ модулярна в $\bar{G}$.

Следующая наша лемма показывает, что модулярное ядро обладает свойствами, аналогичными свойствам нормального ядра подгруппы.

Лемма 2.2. Пусть G — группа и $H \leq K \leq G$. Тогда справедливы следующие утверждения:

- (1) H_{mG} — модулярная в G подгруппа и $H_G \leq H_{mG}$;
- (2) $H_{mG} \leq H_{mK}$;
- (3) если H нормальна в G , то $(K/H)_{m(G/H)} = K_{mG}/H$;
- (4) H_{mG} — нормальная в H подгруппа.

Доказательство. (1) Это утверждение вытекает из леммы 2.1(a).

(2) Применяя лемму 2.1(e), мы видим, что множество всех модулярных в G подгрупп из H содержится во множестве всех модулярных в K подгрупп из H . Значит, $H_{mG} \leq H_{mK}$.

(3) Пусть $M_1/H, M_2/H, \dots, M_n/H$ — набор всех тех модулярных в G/H подгрупп, которые содержатся в K/H . Тогда $(K/H)_{m(G/H)} = \langle M_1/H, M_2/H, \dots, M_n/H \rangle = \langle M_1, M_2, \dots, M_n \rangle/H$. По лемме 2.1(d), $M_1, M_2, \dots, M_n$ — модулярные в G подгруппы, которые содержатся в K . Значит, $(K/H)_{m(G/H)} = \langle M_1, M_2, \dots, M_n \rangle/H \subseteq K_{mG}/H$.

Если же $K_1, K_2, \dots, K_t$ — набор всех модулярных в G подгрупп, содержащихся в K , то $K_{mG} = \langle K_1, K_2, \dots, K_t \rangle$. Согласно лемме 2.1(c), $K_i H/H$ — модулярная в G/H подгруппа, и, очевидно, $K_i H/H \subseteq K/H, i = 1, \dots, t$. Значит, $K_{mG}/H \subseteq (K/H)_{m(G/H)}$. Таким образом, $(K/H)_{m(G/H)} = K_{mG}/H$.

(4) Из $H_{mG} \subseteq H$ следует, что $(H_{mG})^h \subseteq H$ для любого $h \in H$. Так как H_{mG} модулярная в G подгруппа, то $(H_{mG})^h$ модулярная в G подгруппа по лемме 2.1(f). Значит, $(H_{mG})^h \subseteq H_{mG}$, а это влечет $(H_{mG})^h = H_{mG}$. Таким образом, H_{mG} нормальна в H . Лемма доказана.

Символом $Z_{\mathcal{U}}(G)$ обозначают наибольшую нормальную подгруппу группы G , у которой все G -главные факторы циклически ($Z_{\mathcal{U}}(G) = 1$, если в G нет неединичных нормальных подгрупп с таким свойством).

Лемма 2.3 [1, гл. 5, теорема 5.2.5]. *Если подгруппа H модулярна в G , то $H^G/H_G \leq Z_{\mathcal{U}}(G/H_G)$.*

Общие свойства m -добавляемых подгрупп описывает следующая лемма.

Лемма 2.4. *Пусть G — группа. Тогда справедливы следующие утверждения:*

(1) *если H является m -добавляемой в G подгруппой и $H \leq M \leq G$, то H является m -добавляемой в M подгруппой;*

(2) *пусть N нормальная подгруппа в G и $N \leq H$. Тогда и только тогда H является m -добавляемой в G в подгруппой, когда H/N является m -добавляемой в G/N подгруппой;*

(3) *Пусть N — нормальная подгруппа группы G , H — m -добавляемая подгруппа в G и $(|H|, |N|) = 1$. Тогда HN — m -добавляемая подгруппа в G ;*

(4) *пусть π — некоторое множество простых чисел, N — нормальная π' -подгруппа в G и H — π -подгруппа в G . Если H является m -добавляемой в G подгруппой, то HN/N является m -добавляемой в G/N подгруппой;*

(5) *пусть $H \leq G$ и $L \leq \Phi(H)$. Если L является m -добавляемой в G подгруппой, то L является модулярной в G подгруппой и $L \leq \Phi(G)$.*

Доказательство. (1) Это утверждение вытекает из леммы 2.2(1).

(2) Предположим, что H/N является m -добавляемой в G/N подгруппой. Тогда существует подгруппа K/N в G/N такая, что $G/N = (H/N)(K/N)$ и $(H/N) \cap (K/N) \leq (H/N)_{m(G/N)}$. Тогда $G = HK$ и по лемме 2.2(3) имеет место $(H/N)_{m(G/N)} = H_{mG}/N$, что влечет $(H/N) \cap (K/N) \leq H_{mG}/N$. Значит, $H \cap K \leq H_{mG}$ и поэтому H является m -добавляемой в G .

Обратно, если H является m -добавляемой в G подгруппой, то существует такая подгруппа K в G , что $G = HK$ и $H \cap K \leq H_{mG}$. Покажем, что H/N является m -добавляемой в G/N подгруппой. Так как $HNK = HK = G$, то $(H/N)(KN/N) = G/N$. Из $H \cap K \leq H_{mG}$ получаем, что $(H/N) \cap (KN/N) = (H \cap KN)/N = N(H \cap K)/N \leq H_{mG}/N$. По лемме 2.2(3) имеем $H_{mG}/N = (H/N)_{m(G/N)}$. Значит, $(H/N) \cap (KN/N) \leq (H/N)_{m(G/N)}$, и поэтому H/N является m -добавляемой в G/N .

(3) Так как H — m -добавляема в G , то существует такая подгруппа T в G , что $G = HT$ и $H \cap T \leq H_{mG}$. Предположим, что $T < NT \leq G$. Заметим, что $|NT : T| = \frac{|N||T|}{|T||N \cap T|} = \frac{|N|}{|N \cap T|}$, и значит, $|NT : T|$ делит $|N|$. Так как $|G : T| = \frac{|G|}{|T|} = \frac{|H||T|}{|T||H \cap T|}$, то $|G : T|$ делит $|H|$. Но $(|H|, |N|) = 1$. Следовательно, $T = NT$ и $N \leq T$. Покажем, что HN — m -добавляемая подгруппа в G . Очевидно, что $HNT = HT = G$. Так как $T \cap HN = N(T \cap H) \leq NH_{mG}$, то по лемме 2.1(c)(d) получаем, что $NH_{mG} \leq (NH)_{mG}$. Значит, $T \cap HN \leq (NH)_{mG}$, а это означает, что HN — m -добавляемая подгруппа в G .

(4) Вытекает из (2) и (3). Лемма доказана.

Лемма 2.5 [9]. *Пусть P — силовская 2-подгруппа группы G . Если каждая максимальная подгруппа из P обладает 2-нильпотентным дополнением в G , то G является 2-нильпотентной группой.*

Следующая лемма хорошо известна.

Лемма 2.6. *Пусть G — группа, $A, B \leq G$ и $G = AB$. Тогда $G = AB^x$ для всех $x \in G$.*

Лемма 2.7. *Пусть L — минимальная нормальная подгруппа группы G и $L \leq O_p(G)$. Если некоторая максимальная подгруппа из L является m -добавляемой в G , то $|L| = p$.*

Доказательство. Предположим, что $|L| > p$. Пусть R — максимальная подгруппа в L . Так как R является m -добавляемой в G , то существует такая подгруппа T в G , что $RT = G$ и $R \cap T \leq R_{mG}$. Предположим, что $T < G$. Тогда $G = L \rtimes T$, что влечет, $RT \neq G$. Это противоречие показывает, что $T = G$. Тогда $R = R_{mG}$ — модулярная подгруппа в G . Значит, по лемме 2.3, $R^G/R_G \leq Z_u(G/R_G)$. Но $R_G = 1$ и $R^G \neq 1$. Следовательно, $R^G \leq Z_u(G)$ и $L \cap Z_u(G) \neq 1$, что влечет $L \leq Z_u(G)$. Значит, $|L| = p$. Полученное противоречие завершает доказательство леммы.

Если P не является абелевой 2-группой, то мы используем символ $\Omega(P)$ для обозначения подгруппы $\Omega_1(P)$. В противном случае $\Omega(P) = \Omega_2(P)$.

Лемма 2.8. Пусть P — нормальная p -подгруппа группы G . Если $P/\Phi(P) \leq Z_u(G/\Phi(P))$, то $P \leq Z_u(G)$.

Доказательство. Пусть $C = C_G(P)$ и H/K — произвольный главный фактор группы G ниже P . Тогда $O_p(G/C_G(H/K)) = 1$ согласно лемме 3.9 в [6, гл. I]. Предположим, что $P/\Phi(P) \leq Z_u(G/\Phi(P))$. Тогда $(G/C_G(P/\Phi(P)))^{A(p-1)}$ является p -подгруппой согласно [12, лемма 2.2]. Значит, $(G/C)^{A(p-1)}$ — p -группа по теореме 2.4 в [11]. Таким образом, $G/C_G(H/K) \in \mathcal{A}(p-1)$ и поэтому $|H/K| = p$ согласно теореме 4.1 в [6, гл. I]. Следовательно, $P \leq Z_u(G)$. Лемма доказана.

Следуя Дерку и Хоуксу [7], мы используем $C^p(G)$ для обозначения пересечения централизаторов всех абелевых p -главных факторов группы G ($C^p(G) = G$, если G не имеет таких главных факторов).

Для каждой функции f вида

$$f : \mathbb{P} \cup \{0\} \rightarrow \{\text{формации групп}\}, \quad (*)$$

положим, следуя [10], $CLF(f) = \{G \text{ — группа} \mid G/G_8 \in f(0) \text{ и } G/C^p(G) \in f(p) \text{ для любого простого числа } p \in \pi(\text{Com}(G))\}$. Здесь G_8 обозначает 8-радикал группы G (т.е. наибольшую нормальную разрешимую подгруппу группы G); $\text{Com}(G)$ обозначает класс всех абелевых групп A таких, что $A \simeq H/K$ для некоторого композиционного фактора H/K группы G . Формация $\mathcal{F}$ называется композиционной, если для некоторой функции вида $(*)$ имеет место $\mathcal{F} = CLF(f)$.

Лемма 2.9. Пусть $\mathcal{F}$ — композиционная формация, содержащая все сверхразрешимые группы, и G — группа, содержащая нормальную подгруппу E такую, что $G/E \in \mathcal{F}$. Если E — циклическая подгруппа, то $G \in \mathcal{F}$.

Доказательство. Не нарушая общности, можно предположить, что E — минимальная нормальная подгруппа группы G и поэтому $|E| = p$ для некоторого простого числа p . Согласно [10, теорема 1], $\mathcal{F} = CLF(f)$ для некоторой функции вида $(*)$. Ясно, что группа $H = E \rtimes (G/C_G(E))$ является сверхразрешимой, поэтому $H \in \mathcal{F}$. Значит, $G/C_G(E) \in f(p)$. Пусть $C^p/E = C^p(G/E)$. Тогда $C^p(G) = C^p \cap C_G(E)$ согласно [5, гл. А, теорема 3.2]. Но так как $G/E \in \mathcal{F}$, то $G/C^p \simeq (G/E)/C^p(G/E) \in f(p)$ и поэтому $G \in \mathcal{F}$. Лемма доказана.

3 Доказательство основной теоремы

Предположим, что данная теорема не верна, и рассмотрим контрпример (G, E) для которого $|G||E|$ является минимальным. Пусть $Z = Z_u(G)$, p — наименьший простой делитель $|E|$, P — силовская p -подгруппа группы E .

(1) Если V — p' -холлова подгруппа в E , то условие теоремы выполняется для $(G/V, E/V)$.

Понятно, что E/V нормальна в G/V и p — наименьший простой делитель $|E/V|$. Заметим также, что $P \simeq PV/V \in \text{Syl}_p(E/V)$. Пусть L/V — максимальная в PV/V

подгруппа. Так как $L/V = V(L \cap P)/V \simeq (L \cap P)/V \cap (L \cap P) = (L \cap P)/1 \simeq L \cap P$, то $L \cap P$ — максимальная в P подгруппа. Поэтому по условию теоремы, $L \cap P$ является m -добавляемой подгруппой в G . Но $L = L \cap PV = V(L \cap P)$ и $(|V|, |L \cap P|) = 1$, и значит, по лемме 2.4(4), $V(L \cap P)/V$ является m -добавляемой подгруппой в G . Таким образом, условие теоремы выполняется для $(G/V, E/V)$.

(2) E является p -нильпотентной группой.

Предположим, что E не p -нильпотентна.

(а) $E = G$.

Действительно, если $E < G$, то $|E||E| < |G||E|$. Но, ввиду леммы 2.4(1), условие теоремы выполняется для (E, E) . Значит, E является p -нильпотентной группой по выбору группы G . Полученное противоречие показывает, что $E = G$.

(b) $O_{p'}(G) = 1$.

Пусть $D = O_{p'}(G)$. По лемме 2.4(4) условие теоремы выполняется для G/D , и поэтому в этом случае, когда $D \neq 1$, G/D является p -нильпотентной группой по выбору группы G . Но тогда G является p -нильпотентной группой. Это противоречие означает, что $O_{p'}(G) = 1$.

(с) Если $P \leq V < G$, то V — p -нильпотентная группа.

Действительно, по лемме 2.4(1), условие теоремы выполняется для V , и поэтому V — p -нильпотентная группа по выбору группы G .

(d) Если N — абелева минимальная нормальная подгруппа группы G , то G/N p -нильпотентна.

Ввиду утверждения (b), N является p -группой и поэтому $N \leq P$. Таким образом, условие теоремы выполняется для G/N по лемме 2.4(2). Следовательно, утверждение (d) выполняется по выбору группы G .

(е) G является p -разрешимой группой.

Ввиду утверждения (d), нужно лишь показать, что G содержит абелеву минимальную нормальную подгруппу. Предположим, что это не так. Тогда $p = 2$, согласно теореме Фейта-Томсона о разрешимости групп нечетного порядка.

Покажем, что $(V_1)_{mG} \neq 1$ для некоторой максимальной подгруппы V_1 из P . Предположим, что $(V_1)_{mG} = 1$ для любой максимальной подгруппы V_1 из P . Пусть T такая подгруппа из G , что $V_1 T = G$ и $V_1 \cap T \leq (V_1)_{mG} = 1$. Тогда T является дополнением V_1 в G , и поэтому T является 2-нильпотентной группой, так как порядок силовской 2-подгруппы из T равняется 2. Применяя лемму 2.5, получаем, что G является 2-нильпотентной группой. Полученное противоречие показывает, что существуют такие максимальные в P подгруппы V_1 , что $(V_1)_{mG} \neq 1$.

Пусть $L = (V_1)_{mG}$. Тогда по лемме 2.3 получаем, что $L^G/L_G \leq Z_{\mathfrak{U}}(G/L_G)$. Предположим, что $L_G \neq 1$. Пусть R — минимальная нормальная в G подгруппа и $R \leq L_G$. Тогда R абелева. Это противоречие показывает, что $L_G = 1$. Поэтому $L^G \leq Z_{\mathfrak{U}}(G)$, а значит, $Z_{\mathfrak{U}}(G) \neq 1$. Но $Z_{\mathfrak{U}}(G)$ — нормальная подгруппа в G , и она имеет циклические G -главные факторы. Пусть R — минимальная нормальная подгруппа из G , содержащаяся в $Z_{\mathfrak{U}}(G)$. Но тогда R абелева, что противоречит нашему предположению о группе G . Таким образом, утверждение (е) доказано.

Заключительное противоречие для (2).

Пусть N — любая минимальная нормальная подгруппа группы G . Тогда в силу (b) и (е), N — p -группа и значит, G/N является p -нильпотентной группой согласно (d). Поэтому N — единственная минимальная нормальная подгруппа из G и $N \not\leq \Phi(G)$. Следовательно, G — примитивная группа и поэтому $N = C_G(N) = F(G)$ согласно [7, гл. А, теорема 15.2]. Пусть M — максимальная подгруппа из G такая, что $G = N \rtimes$

λM . Пусть $M_p \in \text{Syl}_p(M)$ и V — максимальная подгруппа из P такая, что $M_p \leq V$ и $N \not\leq V$. Тогда $VM \neq G$, и поэтому $VM^x \neq G$ для всех $x \in G$ по лемме 2.6. Так как V — m -добавляема в G , то существует подгруппа T из G такая, что $VT = G$ и $V \cap T \leq V_{mG}$. Предположим, что $V_{mG} = 1$. Тогда T является дополнением V в G , и поэтому $|T_p| = p$, где $T_p \in \text{Syl}_p(T)$. Значит, T является p -нильпотентной группой, так как p — наименьший простой делитель порядка группы G , и поэтому $T_{p'} \trianglelefteq T$, где $T_{p'}$ — p' -холлова подгруппа из T . Так как G p -разрешима, то любые две p' -холловы подгруппы из G сопряжены, и поэтому существует элемент $x \in G$ такой, что $T_{p'} \leq M^x$. Если $T_p \leq M^x$, то $T \leq M^x$, и поэтому $G = VT = VM^x$. Получили противоречие с тем, что $VM^x \neq G$. Следовательно, $T_p \not\leq M^x$. Но $G/N \simeq M^x \leq N_G(T_{p'})$ и $T_p \leq N_G(T_{p'})$. Поэтому $G = \langle M^x, T_p \rangle = N_G(T_{p'})$, что противоречит (b). Значит, $L = V_{mG} \neq 1$. Согласно лемме 2.3, $L^G/L_G \leq Z_{\mathcal{U}}(G/L_G)$. Предположим, что $L_G \neq 1$. Тогда $N \leq L_G$, а это влечёт $N \leq V$. Полученное противоречие показывает, что $L_G = 1$. Рассуждая, как и выше, приходим к противоречию, которое завершает доказательство утверждения (1).

(3) $E = P$.

Пусть V — p' -холлова подгруппа в E . Тогда согласно (2), V является нормальной подгруппой в E , а значит, и характеристической в E подгруппой. Следовательно, V является нормальной подгруппой в G . Согласно (1), условие теоремы верно для $(G/V, E/V)$. Предположим, что $V \neq 1$. Тогда $E/V \leq Z_{\mathcal{U}}(G/V)$ по выбору (G, E) . Это противоречит выбору этой пары. Значит, $V = 1$ и $E = P$.

(4) Если N — минимальная нормальная подгруппа из G , содержащаяся в P , то $P/N \leq Z_{\mathcal{U}}(G/N)$, N — единственная минимальная нормальная подгруппа из G и $|N| > p$.

Действительно, по лемме 2.4(2) условие теоремы выполняется для G/R , где R — любая минимальная нормальная подгруппа R из G , содержащаяся в P . Поэтому $P/R \leq Z_{\mathcal{U}}(G/R)$ по выбору пары $(G, E) = (G, P)$. Следовательно, $|N| > p$. Если $R \neq N$, то ввиду G -изоморфизма $RN/R \simeq N$ получаем, что $|N| = p$. Это противоречие завершает доказательство утверждения (4).

(5) $\Phi(P) \neq 1$.

Предположим, что $\Phi(P) = 1$. Тогда P является элементарной абелевой p -группой. Пусть N_1 — любая максимальная подгруппа из N . Покажем, что N_1 является модулярной в G подгруппой. Пусть B — дополнение из N в P и $V = N_1B$. Тогда V является максимальной подгруппой из P , и поэтому она m -добавляема в G . Пусть T — подгруппа из G такая, что $G = TV$ и $T \cap V \leq V_{mG}$. Предположим, что $T = G$. Тогда $V = V_{mG}$ модулярна в G и значит, $V \cap N = V_{mG} \cap N = N_1B \cap N = N_1$ является модулярной в G подгруппой по лемме 2.1(a). Пусть $T \neq G$. Тогда $1 \neq T \cap P < P$. Так как $G = VT = PT$ и P абелева, то $T \cap P$ и $T \cap V$ нормальные в G подгруппы. Ясно, что $N \not\leq V$, и поэтому $T \cap V = 1$. Но тогда $|T \cap P| = p$, что влечёт $|N| = p$. Полученное противоречие показывает, что каждая максимальная подгруппа из N является модулярной в G подгруппой. Применяя лемму 2.7, получаем, что $|N| = p$. Это противоречие завершает доказательство утверждения (5).

Заключительное противоречие. Согласно (5), $\Phi(P) \neq 1$. Пусть N — минимальная нормальная подгруппа из G , содержащаяся в $\Phi(P)$. Тогда условие теоремы выполняется для G/N и поэтому $P/N \leq Z_{\mathcal{U}}(G/N)$ по выбору (G, P) . Значит, $P/\Phi(P) \leq Z_{\mathcal{U}}(G/\Phi(P))$. Таким образом, $P \leq Z$ по лемме 2.8. Это противоречие завершает доказательство теоремы.

4 Приложения теоремы 1.2

Многие результаты теории формаций связаны с изучением условий, при которых та или иная группа принадлежит насыщенной формации. В этом направлении было найдено большое количество критериев разрешимости, сверхразрешимости, p -нильпотентности, нильпотентности и т.д., а также общих критериев принадлежности группы насыщенной формации. Тем не менее, в этом направлении почти нет результатов, связанных с композиционными формациями. Одним из приложений теоремы 1.2 является следующий результат.

Теорема 4.1. Пусть $\mathcal{F}$ — композиционная формация, содержащая все сверхразрешимые группы, и G — группа, содержащая нормальные подгруппы $X \leq E$ такие, что $G/E \in \mathcal{F}$. Предположим, что все максимальные подгруппы каждой силовской подгруппы из X являются m -добавляемыми в G . Если $X = E$ или $X = F^*(E)$, то $G \in \mathcal{F}$ и каждый главный фактор группы G ниже E является циклическим.

Ещё одним ключевым фактом, лежащим в основе доказательства теоремы 4.1, является следующее наблюдение.

Предложение 4.2 [13, Предложение С]. Пусть E — нормальная подгруппа группы G . Если каждый главный фактор группы G ниже $F^*(E)$ является циклическим, то каждый главный фактор группы G ниже E также является циклическим.

В этом предложении $F^*(E)$ обозначает обобщенную подгруппу Фиттинга группы E , т.е. произведение всех нормальных квазинильпотентных подгрупп группы E .

Доказательство теоремы 4.1. Прежде предположим, что $X = F^*(E)$. Тогда по теореме 1.2 каждый главный фактор группы G ниже $F^*(E)$ является циклическим. Значит, согласно предложению 4.2, каждый главный фактор ниже E является циклическим. Теперь, применяя лемму 2.9, заключаем, что $G \in \mathcal{F}$. Теорема доказана.

В литературе можно встретить следующие частные случаи теоремы 4.1.

Следствие 4.3 (Ли и Го [14]). Предположим, что группа G разрешима и содержит такую нормальную подгруппу H , что G/H сверхразрешима. Если все максимальные подгруппы каждой силовской подгруппы из $F(H)$ являются дополняемыми в G , то G сверхразрешима.

Напомним, что подгруппа H группы G называется s -нормальной [15] в G , если существует такая нормальная подгруппа T из G , что $TH = G$ и $H \cap K \subseteq H_G$.

Следствие 4.4 (Вей, Ванг и Ли [16]). Пусть $\mathcal{F}$ — насыщенная формация, содержащая все сверхразрешимые группы, и G — группа, содержащая нормальную подгруппу E такую, что $G/E \in \mathcal{F}$. Если все максимальные подгруппы силовских подгрупп из $F^*(E)$ являются s -нормальными, то $G \in \mathcal{F}$.

Следствие 4.5 (Рамадан, Еззат Мохамед, Хелиел [17]). Пусть p — простое число, G — p -разрешимая группа и H — нормальная подгруппа группы G такая, что G/H p -сверхразрешима. Если максимальные подгруппы силовских p -подгрупп из H являются s -нормальными в G , то G p -сверхразрешима.

Следствие 4.6 (Вей [18]). Пусть $\mathcal{F}$ — насыщенная формация, содержащая все сверхразрешимые группы, и G — группа с разрешимой нормальной подгруппой E такой, что $G/E \in \mathcal{F}$. Если все максимальные подгруппы силовских подгрупп из $F(E)$ являются s -нормальными в G , то $G \in \mathcal{F}$.

Напомним, что подгруппа H группы G называется s -добавляемой [19] в G , если существует такая подгруппа K из G , что $G = HK$ и $H \cap K \subseteq H_G$.

Следствие 4.7 (Ванг, Вей и Ли [20]). Пусть $\mathcal{F}$ — насыщенная формация, содержащая все сверхразрешимые группы, и G — группа, содержащая разрешимую

нормальную подгруппу E такую, что $G/E \in \mathcal{F}$. Если все максимальные подгруппы всех силовских подгрупп из $F(H)$ являются c -добавляемыми в G , то $G \in \mathcal{F}$.

Следствие 4.8 (Ванг, Вей и Ли [21]). Пусть $\mathcal{F}$ — насыщенная формация, содержащая все сверхразрешимые группы, и G — группа, содержащая нормальную подгруппу H такую, что $G/H \in \mathcal{F}$. Если все максимальные подгруппы любой силовской подгруппы из $F^*(H)$ являются c -добавляемыми в G , то $G \in \mathcal{F}$.

Литература

1. Schmidt, R. Subgroup Lattices of Groups / R. Schmidt; Berlin etc: Walter de Gruyter, 1994. — 572 p.
2. Schmidt, R. Modulare Untergruppen endlicher Gruppen / R. Schmidt // J. Ill. Math. — 1969. — Vol. 13. — P. 358–377.
3. Ore, O. Contributions in the theory of groups of finite order / O. Ore // Duke Math. J. — 1939. — Vol. 5. — P. 431–460.
4. Stonehewer, S.E. Permutable subgroups in Infinite Groups / S.E. Stonehewer // Math. Z. — 1972. — Vol. 125. — P. 1–16.
5. Maier, R. The embedding of permutable subgroups in finite groups / R. Maier, P. Schmid // Math. Z. — 1973. — Vol. 131. — P. 269–272.
6. Шеметков, Л.А. Формации конечных групп / Л.А. Шеметков; М.: Наука, 1978. — 272 с.
7. Doerk, K. Finite Soluble Groups / K. Doerk, T. Hawkes; Berlin etc: Walter de Gruyter, 1992. — 891 p.
8. Ballester-Bolínches, A. Classes of Finite Groups / A. Ballester-Bolínches, L.M. Ezquerro; Dordrecht etc: Springer, 2006. — 385 p.
9. Shemetkov, L.A. On the $\mathcal{X}\Phi$ -hypercentre of finite groups / L.A. Shemetkov, A.N. Skiba // Journal of Algebra — 2009. — Vol. 322. — P. 2106–2117.
10. Skiba, A.N. Multiply $\mathfrak{L}$ -Composition Formations of Finite Groups / A.N. Skiba, L.A. Shemetkov // Ukrainsk. Math. Zh. — 2000. — Vol. 52, № 6. — P. 783–797.
11. Gagen, T.M. Topics in Finite Groups / T.M. Gagen; Cambridge University Press, 1976. — 85 p.
12. Skiba, A.N. On two questions of L. A. Shemetkov concerning hypercyclically embedded subgroups of finite groups / A.N. Skiba // Journal of Group Theory. — 2010. — Vol. 13, № 6. — P. 841–850.
13. Skiba, A.N. A characterization of the hypercyclically embedded subgroups of finite groups / A.N. Skiba // Journal of Pure and Applied Algebra. — 2011. — Vol. 215, № 3. — P. 257–261.
14. Li, D. On Complemented subgroups of finite groups / D. Li, X. Guo // Chinese Ann. Math. Ser. B — 2001. — Vol. 22. — P. 249–254.
15. Wang, Y. c -normality of groups and its properties / Y. Wang // J. Algebra. — 1996. — Vol. 180. — P. 954–965.
16. Wei, H. On c -normal maximal and minimal subgroups of Sylow subgroups of finite groups, II. / H. Wei, Y. Wang, Y. Li // Comm. Algebra. — 2003. — Vol. 31. — P. 4807–4816.
17. Ramadan, M. On c -normality of certain subgroups of prime power order of finite groups / M. Ramadan, M. Ezzat Mohamed, A.A. Heliel // Arch. Math. — 2005. — Vol. 85. — P. 203–210.

18. Wei, H. On c -normal maximal and minimal subgroups of Sylow subgroups of finite groups / H. Wei // Comm. Algebra. — 2001. — Vol. 29. — P. 2193–2200.
19. Ballester-Bolinches, A. c -supplemented subgroups of finite groups / A. Ballester-Bolinches, Y. Wang, X.Y. Guo // Glasgow Math. J. — 2000. — Vol. 42. — P. 383–389.
20. Wang, Y. A generalization of Kramer's theorem and its applications. / Y. Wang, H. Wei, Y. Li // Bull. Australian Math. Soc. — 2002. — Vol. 65. — P. 467–475.
21. Wei, H. On c -supplemented maximal and minimal subgroups of Sylow subgroups of finite groups / H. Wei, Y. Wang, Y. Li // Proc. Amer. Math. Soc. — 2004. — Vol. 132, № 8. — P. 2197–2204.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 18.02.11

УДК 512.542

Функторная характеристика конечных разрешимых групп

Н. С. КОСЕНОК

В работе изучается строение групп в зависимости от свойств их τ -нормальных подгрупп. Доказана следующая теорема. Пусть H — подгруппа группы G . Тогда H τ -нормальна в G , тогда и только тогда, когда существует τ -подгруппа T в G такая, что $TH = G$, и $H \cap T = H_G$.

Ключевые слова: конечная группа, разрешимая группа, τ -нормальная подгруппа.

The article studies the structure of groups depending on the properties of their τ -normal subgroups. The following theorem has been proved. Let H be a subgroup of a group G . We say that H is τ -normal in G if and only if for some subnormal τ -subgroup T of G it is true that $TH = G$ and $H \cap T \leq H_G$. The new characterizations of finite group solubility in the terms of τ -normal subgroups are obtained.

Keywords: finite group, soluble group, τ -normal subgroup.

1 Введение

Все рассматриваемые в данной работе группы конечны.

Многие из наиболее важных классов конечных групп могут быть охарактеризованы на основе свойств их максимальных подгрупп. Напомним, например, что конечная группа нильпотентна тогда и только тогда, когда все ее максимальные подгруппы нормальны. Согласно знаменитой теореме Хупперта, конечная группа сверхразрешима тогда и только тогда, когда индексы ее максимальных подгрупп — простые числа. Согласно [1], конечная группа G является разрешимой тогда и только тогда, когда для любой ее максимальной подгруппы M имеет место $|G : M| = |G : M|_n$ (здесь $|G : M|_n$ — нормальный индекс M в G , который совпадает с порядком главного фактора H/K , где $K \subseteq M$ и $H \not\subseteq M$). Отметим, что в действительности, как это показано в теории формации конечных групп, все наиболее известные классы конечных групп, замкнутые относительно фраттиниевых расширений своих групп, могут быть охарактеризованы по свойствам их максимальных подгрупп (см. монографии [2, 3]).

Свойства максимальных подгрупп лежат и в основе многих признаков принадлежности конечной группы тому или иному классу. Напомним некоторые из наиболее известных результатов в этом направлении. Согласно неопубликованному результату Ф. Холла, конечная группа разрешима, если индекс любой ее максимальной подгруппы является либо простым числом либо квадратом простого числа (см. [4], с. 267). Это важное наблюдение Холла дало толчок серии глубоких исследований, связанных с изучением конечных групп, у которых индексы максимальных подгрупп обладают тем или иным свойством. В этой связи следует прежде всего отметить содержательную монографию М. В. Селькина [5], где найдена красивая связь между теорией классов Шунка и теорией максимальных подгрупп с заданными индексами, а также интересные работы С. Ф. Каморникова [6], где было впервые дано описание конечных групп, у которых индексы всех максимальных подгрупп являются либо простыми числами, либо квадратами простых чисел и Е. Грибовской и В. С. Монахова [7], где было получено описание разрешимых конечных групп с ограниченными примарными индексами

максимальных подгрупп. В работе Томпсона [8] было доказано, что конечная группа G является разрешимой и в случае, когда она обладает максимальной нильпотентной подгруппой нечетного порядка. В дальнейшем Янко [9] и Дескинс [10] установили, что конечная группа разрешима, если она обладает максимальной нильпотентной подгруппой у которой силовская 2-подгруппа имеет класс, не превосходящий 2.

Целью данной работы является дальнейшее изучение строения групп в зависимости от свойств их максимальных подгрупп.

2 Определение, примеры и основные свойства τ -нормальных подгрупп

Подгруппа H группы G называется s -нормальной в G [11], если в G имеется такая нормальная подгруппа T , что $HT = G$ и $T \cap H \subseteq H_G$. Понятие s -нормальности является естественным обобщением нормальности. Более того, многие результаты, связанные с условием нормальности для подгруппы, были расширены до s -нормальности (см., например [11–15]). В дальнейшем (см., например, [16]) был рассмотрен ряд аналогов s -нормальных подгрупп и для таких аналогов были получены результаты, доказательства которых весьма схожи. В данной работе мы рассматриваем понятие τ -нормальной подгруппы, позволяющее устранить возникающий в данном направлении параллелизм.

Напомним, что подгрупповой функтор (в смысле Скибы [17]) сопоставляет каждой группе G такую систему ее подгрупп $\tau(G)$, что выполняются следующие условия:

- 1) $G \in \tau(G)$ для любой группы G ;
- 2) для любого эпиморфизма $\varphi : A \rightarrow B$ и для любых групп $H \in \tau(A)$ и $T \in \tau(B)$ имеет место $\varphi(H) \in \tau(B)$ и $\varphi^{-1}(B) \in \tau(A)$.

Подгрупповой функтор τ называется наследственным, если для любой группы G и для любых ее подгрупп H и $T \in \tau(G)$ имеет место

$$T \cap H \in \tau(H).$$

Если $H \in \tau(G)$, то H называется τ -подгруппой группы G .

Многочисленные примеры подгрупповых функторов можно найти в [5, 17, 18]. Здесь мы отметим лишь несколько примеров (наследственных) подгрупповых функторов Скибы.

1 Пример. Пусть для любой группы G имеет место $\tau(G) = \{G\}$. Такой функтор называют тривиальным [17]. Понятно, что такой функтор является наследственным.

2 Пример. Пусть для любой группы G система $\tau(G)$ состоит из всех подгрупп группы G . Тогда τ — наследственный подгрупповой функтор. Такой подгрупповой функтор называют единичным [17].

3 Пример. Пусть для любой группы G система $\tau(G)$ состоит из всех нормальных подгрупп группы G . Тогда τ — наследственный подгрупповой функтор.

4 Пример. Пусть для любой группы G система $\tau(G)$ состоит из всех субнормальных подгрупп группы G . Тогда согласно [3] τ — подгрупповой функтор и он является наследственным.

Дадим теперь основное понятие данной работы.

5 Определение. Пусть G — группа. Тогда подгруппу H группы G будем называть τ -нормальной, если существует такая τ -подгруппа T в G , что $HT = G$ и $H \cap T \leq H_G$.

6 Пример. Пусть τ — подгрупповой функтор из примера 3. Тогда подгруппа H группы G является τ -нормальной в G в том и только в том случае, когда в G найдется нормальная подгруппа T , такая, что $G = HT$ и $T \cap H \subseteq H_G$. Но подгруппы с таким

свойством являются c -нормальными. Таким образом, c -нормальные подгруппы — это в точности τ -нормальные подгруппы в случае, когда τ — подгрупповой функтор из примера 3.

7 Пример. Пусть τ — подгрупповой функтор из примера 2. Тогда подгруппа H группы G является τ -нормальной в G в том и только в том случае, когда в G найдется подгруппа T , такая, что $G = HT$ и $T \cap H \subseteq H_G$. Но подгруппы с таким свойством названы в работе [16] c -дополняемыми. Таким образом, c -дополняемые подгруппы — это в точности τ -нормальные подгруппы в случае, когда τ — единичный подгрупповой функтор.

8 Пример. Пусть τ — подгрупповой функтор из примера 4. Тогда подгруппа H группы G является τ -нормальной в G в том и только в том случае, когда в G найдется субнормальная подгруппа T , такая, что $G = HT$ и $T \cap H \subseteq H_G$. Но подгруппы с таким свойством названы в работе [19] слабо c -нормальными. Таким образом, слабо c -нормальные подгруппы — это в точности τ -нормальные подгруппы в случае, когда τ — подгрупповой функтор из примера 4.

Покажем теперь, что примеры 6 — 8 выделяют, в общем случае, различные системы подгрупп в группе.

9 Пример. Пусть $G = A_5 \wr Z_2 = [A_1 \times A_2]Z_2$, где $A_1 \times A_2$ — база группы G , и $A_1 = A_2 = A_5$ есть знакопеременная группа степени 5. Пусть

$$\Delta = \text{diag}[A_1 \times A_2] = \{f \in A_1 \times A_2 \mid f(1) = f(2)\}.$$

Тогда $\Delta \cap A_1 = 1$ и $\Delta \cap A_2 = 1$. Кроме того, нетрудно показать, что $\Delta A_2 = A_1 A_2$. Следовательно, $G = A_1(\Delta Z_2)$, и $A_1 \cap \Delta Z_2 = 1$. Ввиду вышеуказанного мы видим, что

$$A_1 \cap (\Delta Z_2) \subseteq (\Delta Z_2)_G,$$

и A_1 субнормальна в G . Тогда, очевидно, мы также видим, что $A_1 \times A_2$ есть единственная минимальная нормальная подгруппа группы G . Следовательно,

$$(A_1 \times A_2) \cap \Delta Z_2 = \Delta \not\subseteq (\Delta Z_2)_G.$$

Это показывает, что подгруппа ΔZ_2 не τ_1 -нормальна в G , но ΔZ_2 τ_2 -нормальна в G , где τ_1 — подгрупповой функтор из примера 6, а τ_2 — подгрупповой функтор из примера 8.

10. Пример. Снова обратимся к примеру 9. Мы уже знаем, что $A_1 \times A_2$ является единственной минимальной нормальной подгруппой в группе G . А ввиду [7] субнормальными в G являются лишь подгруппы $1, A_1, A_2, A_1 \times A_2, G$. Рассмотрим подгруппу Δ . Понятно, что субнормальным добавлением к Δ в G является лишь сама группа G . При этом $\Delta_G = 1$. Таким образом, подгруппа Δ не является τ -нормальной в G , где τ — подгрупповой функтор из примера 4.

11. Пример. Пусть p и q — различные простые числа, Z_p и Z_q — группы порядков p и q соответственно. Пусть

$$G = Z_p \wr (Z_q \wr Z_p) = [K](Z_q \wr Z_p),$$

где K — база сплетения G . Группа G бипримарна и поэтому $G = G_p G_q$ для произвольных силовой p -подгруппы G_p и силовой q -подгруппы G_q группы G . Понятно, что G_p и G_q τ -нормальны, где τ — подгрупповой функтор из примера 2. Допустим, что обе эти подгруппы τ_1 -нормальны, где τ_1 — подгрупповой функтор из примера 4. Легко видеть,

что $(G_q)_G = 1$. Значит, если $G_q \tau_1$ — нормальна в G , то в G имеется такая субнормальная подгруппа T , что $G_q \cap T = 1$ и $G_q T = G$. Ясно, что T — силовская p -подгруппа в G . Применяя теперь [2, с. 71], видим, что $G_p \leq G$. Следовательно,

$$G_p \cap (Z_q \wr Z_p) \leq Z_q \wr Z_p,$$

что невозможно. Итак, G_q не является τ_1 -нормальной в G .

В дальнейшем τ — некоторый фиксированный подгрупповой функтор.

12. Определение. Группа G называется τ -простой, если G не содержит какой-либо τ -нормальной подгруппы, кроме единичной группы 1 и самой группы G .

Пусть H — произвольная подгруппа группы G . И пусть T — такая τ -подгруппа из G , что $HT = G$ и $H \cap T = 1$. Тогда будем говорить, что T — τ -дополнение к H в G .

Следующая теорема описывает наиболее общие свойства τ -нормальных подгрупп.

13. Теорема. Пусть G — группа. Тогда выполняются следующие утверждения.

(1) Пусть H — подгруппа группы G . Тогда H τ -нормальна в G , тогда и только тогда, когда существует τ -подгруппа N в G такая, что $G = HN$ и $H \cap N = H_G$.

(2) Если группа G проста, то любая собственная τ -нормальная подгруппа обладает τ -дополнением в G .

(3) Пусть подгрупповой функтор τ таков, что $1 \in \tau(G)$ для любой группы G . Тогда, если некоторая группа является τ -простой, то она проста.

(4) Если H τ -нормальна в G , где τ — наследственный подгрупповой функтор и $H \leq M \leq G$, то H τ -нормальна в M .

(5) Пусть $K \trianglelefteq G$, и $K \leq H$. Тогда H τ -нормальна в G , если и только если H/K τ -нормальна в G/K .

(6) Пусть H — π -подгруппа группы G и N — нормальная π' -подгруппа. Если H τ -нормальна в G , то HN/N τ -нормальна в G/N . Кроме того, если $N \leq N_G(H)$, то обратное утверждение тоже верно.

(7) Пусть $H \leq G$ и $L \leq \Phi(H)$. Если L τ -нормальна в G , то $L \triangleleft G$ и $L \leq \Phi(G)$.

Доказательство. (1) Достаточность ясна. Проверим необходимость. Предположим, что существует τ -подгруппа K в G такая, что $G = HK$ и $H \cap K \leq H_G$. Пусть $N = KH_G$. При каноническом эпиморфизме $\varphi : G \rightarrow G/H_G$ имеет место $\varphi(K) = H_G K/H_G$. Следовательно, ввиду определения подгруппового функтора, имеем

$$H_G K/H_G \in \tau(G/H_G).$$

Понятно также, что

$$H_G K = (H_G K/H_G)^{\varphi^{-1}}.$$

Таким образом, N — τ -подгруппа группы G такая, что

$$HN = HKH_G = HH_G K = HK = G,$$

и

$$H \cap N = H \cap KH_G = H_G(H \cap K) = H_G.$$

Этим доказано (1).

(2) Предположим, что группа G проста и пусть H — произвольная собственная τ -нормальная подгруппа группы G . Тогда по определению в группе G имеется такая τ -подгруппа T , что $HT = G$ и $T \cap H \leq H_G$. Если $H_G = 1$, то T — τ -дополнение к H

в G . Если же $H_G \neq 1$, то ввиду простоты группы G имеет место $H_G = H = G$. Этим доказано (2).

(3) Пусть для любой группы G имеет место $1 \in \tau(G)$. Тогда для любой нормальной подгруппы N любой группы G имеет место $N \in \tau(G)$. Действительно, $N = \varphi^{-1}(1)$, где φ — канонический эпиморфизм группы G на G/N . Пусть теперь группа G τ -проста. Тогда ввиду сказанного выше, она является простой.

(4) Предположим, что τ — наследственный подгрупповой функтор. Пусть τ -подгруппа T группы G такова, что $HT = G$ и

$$H \cap T \leq H_G.$$

Тогда

$$M = M \cap (HT) = H(M \cap T).$$

Так как $T \in \tau(G)$, то ввиду условия, $M \cap T \in \tau(M)$. Кроме того,

$$H \cap (M \cap T) = (H \cap T) \cap M \leq H_G \cap M \leq H_M.$$

Итак, мы видим, что H τ -нормальна в M .

(5) Предположим, что H/K τ -нормальна в G/K . Тогда существует подгруппа $N/K \in \tau(G/K)$ такая, что $G/K = (H/K)(N/K)$ с

$$(H/K) \cap (N/K) \leq (H/K)_{(G/K)}.$$

Теперь легко понять, что $G = HN$ и $H \cap N \leq H_G$. Обратное утверждение может быть доказано таким же образом.

(6) Если H τ -нормальна в G , то существует подгруппа $K \in \tau(G)$ такая, что $G = HK$ и $H \cap K \leq H_G$. Так как

$$|G|_{\pi'} = |K|_{\pi'} = |KN|_{\pi'},$$

мы имеем

$$|K \cap N|_{\pi'} = |N|_{\pi'} = |N|,$$

и следовательно, $N \leq K$. Ясно, что $(HN/N)(K/N) = G/N$, и

$$(HN/N) \cap (K/N) = (H \cap K)N/N \leq H_G N/N \leq (HN/N)_{(G/N)}.$$

Следовательно, HN/N — τ -нормальная подгруппа G/N .

Наоборот, допустим, что HN/N — τ -нормальная подгруппа G/N , и $N \leq N_G(H)$. Пусть подгруппа $K/N \in \tau(G/N)$ такая, что $G/N = (HN/N)(K/N)$ и

$$(HN/N) \cap (K/N) = (H \cap K)N/N \leq L/N = (HN/N)_{(G/N)}.$$

Понятно, что $G = HNK = HK$. Так как $N \leq N_G(H)$, мы имеем $NH = N \times H$. Следовательно, $L = H_1 \times N$ с $H_1 = H \cap L \leq H$ и $H_1 \triangleleft L$. Так как $L \triangleleft G$, мы имеем, что $H_1 \triangleleft G$. Это ведет к

$$H \cap K \leq H_1 \leq H_G,$$

и подгруппа H , следовательно, τ -нормальна в G .

(7) Так как подгруппа L τ -нормальна в G , существует подгруппа $K \in \tau(G)$, такая, что $G = LK$, и $L \cap K \leq L_G$. Значит,

$$H = H \cap G = L(H \cap K) = H \cap K,$$

так как $L \leq \Phi(H)$. Поэтому

$$L \subseteq (H \cap K) \cap L \leq L \cap K \leq L_G.$$

Таким образом, мы имеем $L \triangleleft G$. Если $L \not\leq \Phi(G)$, то существует максимальная подгруппа M в группе G , такая, что $LM = G$. Значит,

$$H = H \cap G = L(H \cap M) = H \cap M \leq M.$$

Поэтому $G = LM \leq HM \leq M < G$, противоречие. Теорема доказана.

14. Следствие [11]. Пусть G — группа. Тогда справедливы следующие утверждения.

(1) Пусть H — подгруппа группы G . Тогда H s -нормальна в G , если и только если существует нормальная подгруппа N группы G , такая, что $G = HN$, и $H \cap N = H_G$.

(2) Если H s -нормальна в G и $H \leq M \leq G$, то H s -нормальна в M .

(3) Пусть $K \trianglelefteq G$, и $K \leq H$. Тогда H s -нормальна в G , если и только если H/K s -нормальна в G/K .

(4) Пусть H — π -подгруппа группы G , и N — нормальная π' -подгруппа. Если H s -нормальна в G , то HN/N s -нормальна в G/N . Кроме того, если $N \leq N_G(H)$, то обратное утверждение тоже верно.

(5) Пусть $H \leq G$ и $L \leq \Phi(H)$. Если L s -нормальна в G , то $L \triangleleft G$ и $L \leq \Phi(G)$.

15. Следствие [16]. Пусть G — группа. Тогда справедливы следующие утверждения.

(1) Пусть H — подгруппа группы G . Тогда H s -дополняема в G , если и только если существует подгруппа N группы G такая, что $G = HN$, и $H \cap N = H_G$.

(2) Если H s -дополняема в G и $H \leq M \leq G$, то H s -дополняема в M .

(3) Пусть $K \trianglelefteq G$, и $K \leq H$. Тогда H s -дополняема в G , если и только если H/K s -добавляема слабо s -нормальна в G/K .

(4) Пусть H — π -подгруппа группы G , и N — нормальная π Если H s -дополняема в G , то HN/N s -дополняема в G/N . Кроме того, если $N \leq N_G(H)$, то обратное утверждение тоже верно.

(5) Пусть $H \leq G$ и $L \leq \Phi(H)$. Если L s -дополняема в G , то $L \triangleleft G$ и $L \leq \Phi(G)$.

Литература

1. Deskins, W. E. On maximal subgroups / W. E. Deskins // Proc. Symp. Pure Math. — 1959. — V.1. — P. 100–104.
2. Шеметков, Л. А. Формации конечных групп / Л. А. Шеметков. — М.: Наука, 1978. — 272 с.
3. Doerk, K. Finite Soluble Groups / K. Doerk, T. Hawkes. — Walter de Gruyter, Berlin-New York, 1992.
4. Robinson, D. A course in the theory of groups / D. Robinson. — Springer-Verlag, New York-Heidelberg-Berlin. — 1982.
5. Селькин, М.В. Максимальные подгруппы в теории классов конечных групп / М. В. Селькин. — Минск: Беларуская навука, 1997. — 144 с.
6. Каморников, С.Ф. К теореме Ф.Холла / С. Ф. Каморников // Вопросы алгебры. — 1990 — Выпуск 5. — С. 45–52.

7. Монахов, В.С. О максимальных и силовских подгруппах конечных разрешимых групп / В. С. Монахов, Е. Е. Грибовская // Математические заметки. — 2001. — Т.70, Выпуск 4. — С. 603–612.
8. Thompson, J.G. Finite groups with fixed-point-free automorphisms of prime order / J. G. Thompson // Proc Nat.Acad. Sci. USA. — 1959. — V.45. — P. 578–581.
9. Janko, Z. Finite groups with a nilpotent maximal subgroup / Z. Janko // J. Austral. Math. Soc. — 1964. — V.4 — P. 449–451.
10. Deskins, W.E. On maximal subgroups / W. E. Deskins // Proc. Symp. Pure Math. — 1959. — V.1. — P. 100–104.
11. Wang, Y. c -Normality of groups and its properties / Y. Wang // J. Algebra. — 1996. — № 180. — P. 954–965.
12. Guo, Xiuyun. On c -normal subgroups of finite groups / Xiuyun Guo, K. P. Shum // Publicationes Mathematicae (Debrecen). — 2001. — № 58. — P. 85–92.
13. Ballester-Bolinch, A. On c -supplemented subgroups of finite groups / A. Ballester-Bolinch, Guo Xiuyun // Clasg. Math.J. — 2000. — № 42. — P. 383–389.
14. Guo, Xiuyun. The influence of c -normality of subgroups on the structure of finite groups / Xiuyun Guo, Deyu Li // J.Pure Appl. Algebra. — 2000. — № 150. — P. 53–60.
15. Guo, Xiuyun. The influence of c -normality of subgroups on the structure of finite groups II / Xiuyun Guo, Deyu Li // Communications in Algebra. — 1998. — № 26. — P. 1913–1922.
16. Wang, Y. Finite groups with some subgroups of Sylow subgroups c -supplemented / Y. Wang // J. Algebra. — 2000. — № 224. — P. 467–478.
17. Скиба, А. Н. Алгебра формаций / А. Н. Скиба. — Мн.: Беларуская навука, 1997. — 240 с.
18. Каморников, С.Ф. Подгрупповые функторы и классы конечных групп / С. Ф. Каморников, М. В. Селькин. — Мн.: Беларуская навука, 2003.
19. Miao, L. Finite groups with c -normal subgroups / L. Miao, X. Chen, W. Guo // Southeast Asian Bulletin of Mathematics. — 2001. — V.25, № 3.

УДК 512.542

Разложимые n -кратно ω -композиционные формации

И. В. БЛИЗНЕЦ, А. Н. СКИБА

В работе изучаются прямые разложения n -кратно ω -композиционных формаций. В частности, доказана следующая теорема:

Пусть $\mathfrak{F} = \mathfrak{M} \oplus \mathfrak{H}$ для некоторых формаций $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{H}$. Тогда если формация $\mathfrak{F}$ n -кратно ω -композиционна (тотально ω -композиционна), то формации $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{H}$ n -кратно ω -композиционны (соответственно, тотально ω -композиционны).

Ключевые слова: конечная группа, класс групп, прямое разложение класса групп, формация, ω -композиционный спутник, n -кратно ω -композиционная формация.

In this paper it is studied direct decompositions of n -multiply ω -composition formations. In particular, the following theorem is proved:

Let $\mathfrak{F} = \mathfrak{M} \oplus \mathfrak{H}$, where $\mathfrak{M}$ and $\mathfrak{H}$ are formations. Suppose that $\mathfrak{F}$ is n -multiply ω -composition formation (totally ω -composition formation). Then $\mathfrak{M}$ and $\mathfrak{H}$ are n -multiply ω -composition formations (totally ω -composition formations, respectively).

Keywords: finite group, class of groups, direct decomposition of class of groups, formation, ω -composition satellite, n -multiply ω -composition formation.

Все рассматриваемые группы конечны. Мы будем пользоваться стандартной терминологией, принятой в [1–4].

Если непустые формации $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{H}$ таковы, что $\mathfrak{M} \cap \mathfrak{H} = (1)$, то формация $\text{form}(\mathfrak{M} \cup \mathfrak{H})$ обозначается через $\mathfrak{M} \oplus \mathfrak{H}$ [3, 5] и, как доказано в [5], такая формация состоит из групп вида $A \times B$, где $A \in \mathfrak{M}$, $B \in \mathfrak{H}$. В работе [5] было также показано, что формация $\mathfrak{M} \oplus \mathfrak{H}$ является n -кратно насыщенной тогда и только тогда, когда n -кратно насыщена каждая из формаций $\mathfrak{M}$, $\mathfrak{H}$. Впоследствии этот результат был распространен на n -кратно ω -насыщенные формации [6] и n -кратно локальные классы Фиттинга [7]. В связи с этим возникает вопрос о справедливости аналогичного результата для n -кратно ω -композиционных формаций.

Лемма 1. *Формация $\mathfrak{F}$ n -кратно ω -композиционна тогда и только тогда, когда она обладает таким ω -композиционным спутником f , значения которого на абелевых простых группах $(n-1)$ -кратно ω -композиционны.*

Доказательство. Пусть f — такой ω -композиционный спутник формации $\mathfrak{F}$, все значения которого на абелевых простых группах $(n-1)$ -кратно ω -композиционны. Индукцией по n покажем, что формация $\mathfrak{F}$ n -кратно ω -композиционна. При $n = 1$ утверждение вытекает из условия. Пусть $n > 1$ и лемма верна при $n - 1$. Рассмотрим такой ω -композиционный спутник h , что

$$h(a) = \begin{cases} f(a) \cap \mathfrak{F}, & \text{если } a \in \omega \cap \pi(\text{Com}^+(\mathfrak{F})), \\ \mathfrak{F}, & \text{если } a = \omega'. \end{cases}$$

Легко видеть, что h — ω -композиционный спутник формации $\mathfrak{F}$. Так как согласно нашему предположению, формация $\mathfrak{F}$ $(n-1)$ -кратно ω -композиционна, то все значения спутника h являются $(n-1)$ -кратно ω -композиционными формациями. Следовательно, формация $\mathfrak{F}$ n -кратно ω -композиционна. Лемма доказана.

Из леммы 1 непосредственно вытекает

Следствие 1. *Всякая формация, у которой все композиционные факторы неабелевы, является тотально ω -композиционной.*

Напомним, что формация $\mathfrak{F}$ называется $\mathfrak{N}_p$ -насыщенной, если для любой группы G с $G/\Phi(O_p(G)) \in \mathfrak{F}$ следует, что $G \in \mathfrak{F}$.

Лемма 2. *Пусть $\mathfrak{F} = \mathfrak{M} \oplus \mathfrak{H}$ для некоторых формаций $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{H}$. Если формация $\mathfrak{F}$ ω -композиционна с ω -композиционным спутником f , то формации $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{H}$ также ω -композиционны с ω -композиционными спутниками m и h соответственно, которые таковы, что*

$$m(a) = \begin{cases} \mathfrak{M}, & \text{если } a = \omega', \\ f(a), & \text{если } a \in \pi_1, \\ \emptyset, & a \in \omega \setminus \pi_1 \end{cases}$$

и

$$h(a) = \begin{cases} \mathfrak{H}, & \text{если } a = \omega', \\ f(a), & \text{если } a \in \pi_2, \\ \emptyset, & a \in \omega \setminus \pi_2, \end{cases}$$

где $\pi_1 = \omega \cap \pi(\text{Com}^+(\mathfrak{M}))$, $\pi_2 = \omega \cap \pi(\text{Com}^+(\mathfrak{H}))$.

Доказательство. Пусть $\mathfrak{F}$ — ω -композиционная формация и G — такая группа, что $G/\Phi(O_p(G)) \in \mathfrak{M} \subseteq \mathfrak{F}$. Тогда поскольку формация $\mathfrak{F}$ по условию ω -композиционна, то согласно теореме 3.2 [8], $G \in \mathfrak{F}$. Значит, $G = A \times B$, где $A \in \mathfrak{M}$, $B \in \mathfrak{H}$. Отсюда, по теореме X.1.9 [1, с. 680],

$$O_p(G) = O_p(A \times B) = (A \times B)_{\mathfrak{N}_p} = A_{\mathfrak{N}_p} \times B_{\mathfrak{N}_p} = O_p(A) \times O_p(B)$$

и, кроме того, по лемме A.9.4 [1, с. 30]

$$\Phi(O_p(G)) = \Phi(O_p(A)) \times \Phi(O_p(B)).$$

Поэтому

$$\begin{aligned} G/\Phi(O_p(G)) &= G/(\Phi(O_p(A)) \times \Phi(O_p(B))) \simeq \\ &\simeq A/\Phi(O_p(A)) \times B/\Phi(O_p(B)) \in \mathfrak{M}. \end{aligned}$$

Значит,

$$B/\Phi(O_p(B)) \in \mathfrak{M}.$$

Вместе с тем $B/\Phi(O_p(B)) \in \mathfrak{H}$. Следовательно, $B = \Phi(O_p(B))$, откуда $B = O_p(B) = 1$. Поэтому $G = A \times B = A \in \mathfrak{M}$. Таким образом формация $\mathfrak{M}$ ω -композиционна согласно теореме 3.2 [8]. Аналогично можно показать, что формация $\mathfrak{H}$ ω -композиционна.

Пусть $\mathfrak{F} = CF_\omega(f)$ и m — такой ω -композиционный спутник, что

$$m(a) = \begin{cases} \mathfrak{M}, & \text{если } a = \omega', \\ f(a), & \text{если } a \in \pi_1, \\ \emptyset, & a \in \omega \setminus \pi_1, \end{cases}$$

где $\pi_1 = \omega \cap \pi(\text{Com}^+(\mathfrak{M}))$.

Пусть $\mathfrak{M}_1 = CF_\omega(m)$. Покажем, что $\mathfrak{M}_1 = \mathfrak{M}$. Предположим, что $\mathfrak{M}_1 \not\subseteq \mathfrak{M}$ и пусть G — группа минимального порядка из $\mathfrak{M}_1 \setminus \mathfrak{M}$. Тогда G монолитична с монолитом $R = G^{\mathfrak{M}}$. Допустим, что $\omega \cap \pi(\text{Com}^+(R)) = \emptyset$. Тогда $R_\omega(G) = 1$ и поэтому

$$G \simeq G/R_\omega(G) \in m(\omega') = \mathfrak{M}.$$

Противоречие. Следовательно, $\omega \cap \pi(\text{Com}^+(R)) \neq \emptyset$. Значит, R — p -группа, где $p \in \omega \cap \pi(\text{Com}^+(R))$. Поскольку, очевидно, $m \leq f$, то $\mathfrak{M}_1 \subseteq \mathfrak{F}$. Значит, $G \in \mathfrak{F}$. Ввиду монолитичности группы G , либо $G \in \mathfrak{M}$, либо $G \in \mathfrak{H}$. Значит, $G \in \mathfrak{H}$. Тогда, согласно лемме IV.4.14 [1, с. 372], $Z_p \in \mathfrak{H}$. Отсюда $Z_p \in \mathcal{K}(\mathfrak{H})$. По лемме IV.4.15 [1, с. 372],

$$\mathcal{K}(\mathfrak{M}) \cap \mathcal{K}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{L} = \emptyset.$$

Значит, $Z_p \notin \mathcal{K}(\mathfrak{M})$ и поэтому

$$G/C^p(G) \in m(Z_p) = \emptyset.$$

Противоречие. Следовательно, $\mathfrak{M}_1 \subseteq \mathfrak{M}$.

Пусть $\mathfrak{M} \not\subseteq \mathfrak{M}_1$ и G — группа минимального порядка из $\mathfrak{M} \setminus \mathfrak{M}_1$. Тогда G монолитична с монолитом $R = G^{\mathfrak{M}_1}$. Допустим, что $\omega \cap \pi(\text{Com}^+(R)) = \emptyset$. Тогда $R_\omega(G) = 1$. Поэтому

$$G \simeq G/R_\omega(G) \in \mathfrak{M} = m(\omega').$$

Вместе с тем, поскольку $G/R \in \mathfrak{M}_1$, то по лемме 1 [4], имеем

$$(G/R)/C^p(G/R) = (G/R)/(C^p(G)/R) \simeq G/C^p(G) \in m(p),$$

для всех

$$p \in \omega \cap \pi(\text{Com}^+(G/R)) \subseteq \omega \cap \pi(\text{Com}^+(G)).$$

Но тогда $G \in \mathfrak{M}_1$. Противоречие. Следовательно, $\omega \cap \pi(\text{Com}^+(R)) \neq \emptyset$. Значит, R — p -группа, где $p \in \omega \cap \pi(\text{Com}^+(R))$. Поскольку

$$G \in \mathfrak{M} \subseteq \mathfrak{F} = CF_\omega(f),$$

то

$$G/C^p(G) \in f(p) = m(p).$$

Кроме того,

$$G/R_\omega(G) \in \mathfrak{M} = m(\omega').$$

Следовательно, $G \in \mathfrak{M}_1$. Лемма доказана.

Теорема. Пусть $\mathfrak{F} = \mathfrak{M} \oplus \mathfrak{H}$ для некоторых формаций $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{H}$. Если формация $\mathfrak{F}$ n -кратно ω -композиционна (тотально ω -композиционна), то формации $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{H}$ n -кратно ω -композиционны (соответственно, тотально ω -композиционны).

Доказательство. При $n = 0$ теорема, очевидно, верна. Пусть формация $\mathfrak{F}$ n -кратно ω -композиционна, где $n \geq 1$ и f — такой ω -композиционный спутник формации $\mathfrak{F}$, все непустые значения которого $(n-1)$ -кратно ω -композиционны. Тогда, по лемме 2 формация $\mathfrak{M}$ композиционна и обладает ω -композиционным спутником m , таким, что

$$m(a) = \begin{cases} \mathfrak{M}, & \text{если } a = \omega', \\ f(a), & \text{если } a \in \omega \cap \pi(\text{Com}^+(\mathfrak{M})), \\ \emptyset, & \text{если } a \in \omega \setminus \pi(\text{Com}^+(\mathfrak{M})). \end{cases}$$

Следовательно, согласно условию, все значения функции m на абелевых простых группах $(n-1)$ -кратно ω -композиционны, а это означает, ввиду леммы 1, что формация $\mathfrak{M}$ n -кратно ω -композиционна. Теорема доказана.

Заметим, что как показывает следующий пример, обратное утверждение теоремы неверно.

Пример. Пусть $G = SL(2, 5)$, $\mathfrak{M} = \text{form } A_5$, $\mathfrak{H} = \mathfrak{N}_2$. Тогда по следствию $\mathfrak{M} = CF(m)$, где

$$m(A) = \begin{cases} \mathfrak{M}, & \text{если } A \simeq A_5, \\ \emptyset, & \text{если } A \not\simeq A_5. \end{cases}$$

и по лемме 5 [4], $\mathfrak{H} = CF(h)$, где

$$h(A) = \begin{cases} (1), & \text{если } A \simeq Z_2, \\ \emptyset, & \text{если } A \not\simeq Z_2. \end{cases}$$

Очевидно, $\mathfrak{M} \cap \mathfrak{H} = (1)$. Предположим, что формация $\mathfrak{F} = \mathfrak{M} \oplus \mathfrak{H}$ композиционна. Тогда по лемме 5 [4] она обладает минимальным композиционным спутником f вида

$$f(A) = \begin{cases} h(A) = (1), & \text{если } A \simeq Z_2, \\ m(A) = \text{form } A_5 = \mathfrak{M}, & \text{если } A \simeq A_5, \\ \emptyset, & \text{если } A \not\simeq Z_2 \text{ и } A \not\simeq A_5. \end{cases}$$

Рассмотрим главный ряд группы G : $1 \subset Z \subset G$, где $Z = Z(G)$. Тогда поскольку $C_G(Z) = G$ и $C_G(G/Z) = Z$, то

$$G/C_G(Z) \in h(Z_2), \quad G/C_G(G/Z) \simeq G/Z \simeq A_5 \in m(A_5).$$

Следовательно, $G \in \mathfrak{F}$, т.е. $G = A \times B$, где $A \in \mathfrak{M}$, $B \in \mathfrak{H}$. Противоречие.

Литература

1. Doerk, K. Finite soluble groups / К. Doerk, Т. Hawkes. — Walter de Gruyter, Berlin-New York, 1992.
2. Шеметков, Л. А. Формации алгебраических систем / Л. А. Шеметков А. Н. Скиба. — М.: Наука, 1989 — 253 с.
3. Скиба, А. Н. Алгебра формаций / А. Н. Скиба. — Мн.: Беларуская навука, 1997. — 240 с.
4. Скиба, А. Н. Кратно $\mathfrak{L}$ -композиционные формации конечных групп / А. Н. Скиба, Л. А. Шеметков // Украинский матем. журн. — 2000. — Т. 52. — № 6. — С. 783–797.
5. Скиба, А. Н. О дополняемых подформациях / А. Н. Скиба // Вопросы алгебры, Гомель: Изд-во ГГУ им. Ф. Скорины, 1996. — Вып. 9. — С. 55–62.
6. Воробьев, Н. Н. О прямых разложениях n -кратно ω -насыщенных формаций / Н. Н. Воробьев, А. П. Мехович // Проблемы физики, математики и техники. — 2011. — № 1 (6). — С. 48–51.
7. Воробьев, Н. Н. О булевых решетках n -кратно локальных классов Фиттинга / Н. Н. Воробьев, А. Н. Скиба // Сиб. матем. журн., 1999. — Т. 40. — № 3. — С. 523–530.
8. Shemetkov, L. A. Frattini extensions of finite groups and formations / L. A. Shemetkov // Communications in Algebra. — 1997. — V. 25, № 3. — P. 955–964.
9. Скиба, А. Н. О минимальном композиционном экране композиционной формации / А. Н. Скиба, Л. А. Шеметков, Вопросы алгебры, Гомель: Изд-во ГГУ им. Ф.Скорины, 1992. — Вып. 7. — С. 39–43.

УДК 512.542

О c_ω -неприводимых формациях $\mathfrak{H}_\omega$ -дефекта 2

П. А. ЖИЗНЕВСКИЙ, В. Г. САФОНОВ

Получено описание неприводимых ω -композиционных формаций $\mathfrak{H}_\omega$ -дефекта 2, где $\mathfrak{H}$ — непустая нильпотентная насыщенная формация.

Ключевые слова: конечная группа, формация, ω -композиционный спутник, ω -композиционная формация, неприводимая формация, дефект формации.

In this paper we describe irreducible ω -composition formations with $\mathfrak{H}_\omega$ -defect 2, where $\mathfrak{H}$ is non-empty nilpotent saturated formation.

Keywords: finite group, formation, ω -composition satellite, ω -composition formation, irreducible formation, defect of formation.

Все рассматриваемые группы конечны. Необходимые определения и обозначения можно найти в [1-3]. Напомним, что если $\mathfrak{H}$ — непустой класс групп и $\mathfrak{F}$ — некоторая ω -композиционная формация, то длину решетки ω -композиционных формаций, находящихся между $\mathfrak{F} \cap \mathfrak{H}$ и $\mathfrak{F}$, называют $\mathfrak{H}_\omega$ -дефектом формации $\mathfrak{F}$. Задача изучения и классификации ω -композиционных формаций нильпотентного дефекта ≤ 2 поставлена в работе А.Н. Скибы и Л.А. Шеметкова [3] (проблема 6). В работе авторов [4] получено описание ω -композиционных формаций с нильпотентным дефектом 1. В данной заметке получено описание неприводимых ω -композиционных формаций $\mathfrak{H}_\omega$ -дефекта 2, где $\mathfrak{H}$ — непустая нильпотентная насыщенная формация.

Группа G называется критической, если G — группа минимального порядка из $\mathfrak{F} \setminus \mathfrak{M}$ для некоторых формаций $\mathfrak{F}$ и $\mathfrak{M}$. Критическая группа $G \in \mathfrak{F}$ называется $\mathfrak{H}$ -базисной, если у формации $\text{form } G$ имеется лишь единственная максимальная подформация, которая содержится в $\mathfrak{H}$. В дальнейшем, для краткости, вместо " ω -композиционная формация" будем писать " c_ω -формация".

Теорема 1. Пусть $\mathfrak{H}$ — непустая нильпотентная насыщенная формация. Тогда и только тогда c_ω -неприводимая формация $\mathfrak{F}$ имеет $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект 2, когда $\mathfrak{F} = c_\omega \text{form } G$, где G — такая монолитическая группа с цоколем P , что выполняется одно из следующих условий:

1) $\pi(\text{Com}(P)) \cap \omega = \emptyset$, $P = G^{\mathfrak{M}}$, группа G является $\mathfrak{M}$ -базисной, где $\mathfrak{M} = (\mathfrak{F} \cap \mathfrak{H}) \vee_\omega c_\omega \text{form } (G/P)$, формация $c_\omega \text{form } (G/P)$ имеет $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект 1;

2) $G = [P]H$, где P — абелева p -группа, $p \in \omega \setminus \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$, $P \not\subseteq \Phi(G)$ и H — группа простого порядка $q \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$;

3) $G = [P]H$, где P — абелева p -группа, $p \in \omega \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$, $P \not\subseteq \Phi(G)$, а H — группа, удовлетворяющая одному из следующих условий:

3.1) монолитическая группа с цоколем $Q = H^{\mathfrak{H}}$ таким, что $\pi(\text{Com}(Q)) \cap \omega = \emptyset$ и $H/Q \in \mathfrak{N}_p$;

3.2) $H = [Q]N$ — монолитическая группа с цоколем Q , где $Q = H^{\mathfrak{H}}$ — абелева q -группа, $q \in \omega \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$, $q \neq p$ и $|N| = p$;

3.3) циклическая примарная группа порядка q^2 , где $q \neq p$ и $q \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$;

3.4) неабелева группа порядка q^3 простой нечетной экспоненты q , где $q \neq p$ и $q \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$.

Доказательство. Необходимость. Пусть $\mathfrak{F}$ — c_ω -неприводимая формация $\mathfrak{H}_\omega$ -дефекта 2, $\mathfrak{M}$ — ее максимальная c_ω -подформация $\mathfrak{H}_\omega$ -дефекта 1, f и t — минимальные ω -композиционные спутники формаций $\mathfrak{F}$ и $\mathfrak{M}$ соответственно. Из c_ω -неприводимости формации $\mathfrak{F}$ следует, что она является $\mathfrak{M}_\omega$ -критической формацией. По теореме 1 [3] формация $\mathfrak{F}$ имеет

канонический ω -композиционный спутник F такой, что $F(\omega') = \mathfrak{F}$ и $F(p) = \mathfrak{N}_p f(p)$ для всех $p \in \omega$. Тогда согласно теореме 1 [5], $\mathfrak{F} = c_\omega \text{form } G$, где G — такая монолитическая группа с цоколем $P = G^\mathfrak{M}$, что либо $\pi = \pi(\text{Com}(P)) \cap \omega = \emptyset$ и $f(\omega')$ — $\mathfrak{M}$ -критическая формация, либо $\pi \neq \emptyset$, $P = C_G(P)$ — абелева p -группа, $P \not\subseteq \Phi(G)$ и $f(p)$ — $\mathfrak{N}_p m(p)$ -критическая формация, где $p \in \pi$.

По теореме 2 [6] формация $\mathfrak{M}$ имеет вид $\mathfrak{M} = \mathfrak{M}_1 \vee_\omega \mathfrak{K}$, где $\mathfrak{M}_1 \subseteq \mathfrak{H}$ и $\mathfrak{K}$ — $\mathfrak{H}_\omega$ -критическая формация. Ввиду леммы 10 [4], $m = m_1 \vee k$, где m_1 и k — минимальные ω -композиционные спутники формаций $\mathfrak{M}_1$ и $\mathfrak{K}$ соответственно. Согласно теореме 1 [7], $\mathfrak{K} = c_\omega \text{form } K$, где K — такая монолитическая группа с цоколем $R = K^\mathfrak{H} \not\subseteq \Phi(K)$, что либо $\pi(\text{Com}(R)) \cap \omega = \emptyset$, либо $\pi(\text{Com}(R)) \cap \omega \neq \emptyset$ и выполняется одно из следующих условий:

- а) K — группа простого порядка $r \in \omega \setminus \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$;
- б) $K = [R]T$, где $R = C_K(R)$ — абелева r -группа, $r \in \omega \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$ и $|T| = t$, r и t — различные простые числа.

Предположим, что $\pi = \emptyset$. Тогда $R_\omega(G) = 1$ и по лемме 5 [3], $f(\omega') = \text{form } G$. Значит, $\text{form } G$ — $\mathfrak{M}$ -критическая формация. Поэтому G является $\mathfrak{M}$ -базисной группой. Поскольку $c_\omega \text{form}(G/P) \subseteq \mathfrak{M}$, то в силу леммы 18 [6] $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект d формации $c_\omega \text{form}(G/P)$ не превосходит 1. Если $d = 0$, то $G/P \in \mathfrak{H}$. Но $G \notin \mathfrak{H}$. Поэтому $P = G^\mathfrak{H}$ и по теореме 1 [7] $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{F}$ равен 1. Противоречие. Следовательно, $d = 1$ и $c_\omega \text{form}(G/P) \not\subseteq \mathfrak{F} \cap \mathfrak{H}$. Поскольку $\mathfrak{F}$ — c_ω -неприводимая формация и $\mathfrak{M}$ — формация $\mathfrak{H}_\omega$ -дефекта 1, то $\mathfrak{F} \cap \mathfrak{H} = \mathfrak{M} \cap \mathfrak{H}$ — максимальная c_ω -подформация в $\mathfrak{M}$. Поэтому $\mathfrak{M} = (\mathfrak{F} \cap \mathfrak{H}) \vee_\omega c_\omega \text{form}(G/P)$. Таким образом, группа G удовлетворяет условию 1) теоремы.

Предположим теперь, что $\pi \neq \emptyset$, $P = C_G(P)$ — абелева p -группа, $P \not\subseteq \Phi(G)$ и $f(p)$ — $\mathfrak{N}_p m(p)$ -критическая формация, где $p \in \pi$. Ясно, что $C^p(G) = P$. Тогда по лемме 5 [3], $f(p) = \text{form}(G/P)$.

Заметим, что $\pi(\text{Com}(\mathfrak{F})) \cap \omega = \pi(\text{Com}(\mathfrak{M})) \cap \omega$. Действительно, включение $\pi(\text{Com}(\mathfrak{M})) \cap \omega \subseteq \pi(\text{Com}(\mathfrak{F})) \cap \omega$ очевидно. Установим справедливость обратного включения. Предположим противное, и пусть $l \in (\pi(\text{Com}(\mathfrak{F})) \cap \omega) \setminus (\pi(\text{Com}(\mathfrak{M})) \cap \omega)$. Тогда $c_\omega \text{form } Z_l = \mathfrak{N}_l \not\subseteq \mathfrak{M}$, где Z_l — группа простого порядка l . Поскольку $\mathfrak{M}$ — максимальная c_ω -подформация в $\mathfrak{F}$ и $\mathfrak{N}_l \not\subseteq \mathfrak{M}$, то $\mathfrak{F} = \mathfrak{M} \vee_\omega \mathfrak{N}_l$, что противоречит c_ω -неприводимости формации $\mathfrak{F}$. Значит, $\pi(\text{Com}(\mathfrak{F})) \cap \omega \subseteq \pi(\text{Com}(\mathfrak{M})) \cap \omega$. Таким образом, $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{F})) \cap \omega = \pi(\text{Com}(\mathfrak{M})) \cap \omega$.

Используя лемму 5 [3] и леммы 10, 11 [4] рассмотрим все возможные значения спутника m на простом числе p :

- 1) если $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{M})) \setminus \pi(\text{Com}(\mathfrak{K}))$, то $m(p) = (1) \vee \emptyset = (1)$;
- 2) пусть для K выполняется условие $\pi(\text{Com}(R)) \cap \omega = \emptyset$. Если $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{K})) \setminus \pi(\text{Com}(\mathfrak{M}))$ или $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{K}) \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{M})))$, то соответственно получаем $m(p) = \emptyset \vee \text{form}(K/C^p(K)) = \emptyset \vee (1) = (1)$ или $m(p) = (1) \vee \text{form}(K/C^p(K)) = (1) \vee (1) = (1)$;
- 3) если K удовлетворяет условию а) и $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{K})) \setminus \pi(\text{Com}(\mathfrak{M}))$, то $\mathfrak{K} = \mathfrak{N}_p$, где $p \notin \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$ и, значит, $m(p) = \emptyset \vee (1) = (1)$;
- 4) пусть K удовлетворяет условию б) и $p = t \in \omega \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$. Если $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{K})) \setminus \pi(\text{Com}(\mathfrak{M}))$ или $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{K}) \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{M})))$, то соответственно получаем $m(p) = \emptyset \vee \text{form}(K/C^p(K)) = \emptyset \vee (1) = (1)$ или $m(p) = (1) \vee \text{form}(K/C^p(K)) = (1) \vee (1) = (1)$;
- 5) пусть для K выполняется условие б) и $p = r \in \omega \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$. Если $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{K})) \setminus \pi(\text{Com}(\mathfrak{M}))$ или $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{K}) \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{M})))$, то соответственно получаем $m(p) = \emptyset \vee \text{form}(K/C^p(K)) = \emptyset \vee \text{form}(K/R) = \text{form } T$ или $m(p) = (1) \vee \text{form}(K/C^p(K)) = (1) \vee \text{form}(K/R) = \text{form } T$.

Таким образом, возможны два случая: либо $m(p) = (1)$, либо $m(p) = \text{form } T$.

Рассмотрим случай, когда $m(p) = (1)$, т. е. выполняются условия 1)-4). Тогда $f(p) = \text{form}(G/P)$ — $\mathfrak{N}_p$ -критическая формация. Пусть H — группа минимального порядка из $f(p) \setminus \mathfrak{N}_p$. Тогда H — монолитическая группа с цоколем $Q = H^{\mathfrak{N}_p}$ и $f(p) = \text{form}(G/P) = \text{form } H$. В силу насыщенности формации $\mathfrak{N}_p$, имеем $Q \not\subseteq \Phi(H)$.

Допустим, что $H \in \mathfrak{H}$. Тогда $|Q| = q$ и H — q -группа, где $q \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$. Понятно, что $q \neq p$. Так как $H/Q \in \mathfrak{N}_p$, то $H = Q$ — группа простого порядка q . Поскольку $O_p(H) = 1$, то по лемме 18.8 [1] существует точный неприводимый $F_p H$ -модуль V , где F_p — поле из p элементов. Положим $F = [V]H$. Поскольку $F/O_p(V) = F/V \simeq H \in f(p) = \text{form } H$ и спутник f — внутренний, то по лемме 4 [3], $F \in \mathfrak{F}$. Значит, $c_\omega \text{form } F \subseteq \mathfrak{F}$. Если $c_\omega \text{form } F \subset \mathfrak{F}$, то $c_\omega \text{form } F \subseteq \mathfrak{M}$. Тогда по лемме 2 [8] получаем $H \simeq F/V = F/C^p(F) \in m(p) = (1)$, т. е. $H = 1 \in \mathfrak{N}_p$. Противоречие. Следовательно, $\mathfrak{F} = c_\omega \text{form } F$. Если $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$, то по теореме 1 [7] $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{F}$ равен 1. Противоречие. Значит, $p \notin \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$ и группа F удовлетворяет условию 2) теоремы.

Предположим теперь, что $H \notin \mathfrak{H}$. Пусть $\pi(\text{Com}(Q)) \cap \omega = \emptyset$. Тогда $R_\omega(H) = 1$. Поскольку $H \in \mathfrak{M}$, то $H \simeq H/R_\omega(H) \in m(\omega') = m_1(\omega') \vee k(\omega') = (\mathfrak{M}_1 \cap \mathfrak{N}_{\omega'}) \vee k(\omega')$. Если для K выполняется условие а) или б), то $k(\omega') \subseteq \mathfrak{H}$. Значит, $m(\omega') \subseteq \mathfrak{H}$. Поэтому $H \in \mathfrak{H}$. Противоречие. Следовательно, K — монолитическая группа с цоколем R таким, что $\pi(\text{Com}(R)) \cap \omega = \emptyset$. Тогда $k(\omega') = \text{form } K$ и $p \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{H})) \cap \omega$. Отсюда получаем, что $H \in (\mathfrak{M}_1 \cap \mathfrak{N}_{\omega'}) \vee \text{form } K = \text{form}((\mathfrak{M}_1 \cap \mathfrak{N}_{\omega'}) \cup \text{form } K) = \text{form}((\mathfrak{M}_1 \cap \mathfrak{N}_{\omega'}) \cup \{K\})$. Таким образом, $H \in \text{form}((\mathfrak{M}_1 \cap \mathfrak{N}_{\omega'}) \cup \{K\}) \setminus \mathfrak{H}$. Поскольку $\mathfrak{M}_1 \cap \mathfrak{N}_{\omega'} \subseteq \mathfrak{H}$ и $K^\mathfrak{H} \not\subseteq \Phi(K)$, то у каждой группы D из $(\mathfrak{M}_1 \cap \mathfrak{N}_{\omega'}) \cup \{K\}$ ее $\mathfrak{H}$ -корадикал $D^\mathfrak{H}$ не имеет фраттининовых D -главных факторов. Теперь согласно лемме 1.2.29 [2] H является гомоморфным образом группы K . Но $K/R \in \mathfrak{H}$. Значит, $H \simeq K$. Понятно, что $O_p(H) = 1$. Тогда по лемме 18.8 [1] существует точный неприводимый $F_p H$ -модуль V , где F_p — поле из p элементов. Положим $F = [V]H$. Поскольку $F/O_p(V) = F/V \simeq H \in f(p) = \text{form } H$ и спутник f — внутренний, то по лемме 4 [3], $F \in \mathfrak{F}$. Значит, $c_\omega \text{form } F \subseteq \mathfrak{F}$. Если $c_\omega \text{form } F \subset \mathfrak{F}$, то $c_\omega \text{form } F \subseteq \mathfrak{M}$. Тогда по лемме 2 [8] получаем $H \simeq F/V = F/C^p(F) \in m(p) = (1) \subseteq \mathfrak{N}_p$. Противоречие. Следовательно, $\mathfrak{F} = c_\omega \text{form } F$. Таким образом, H удовлетворяет условию 3.1) теоремы.

Пусть теперь $\pi(\text{Com}(Q)) \cap \omega \neq \emptyset$. Тогда Q — абелева q -группа, где $q \in \omega$. Так как $Q \not\subseteq \Phi(H)$, то $C^q(H) = Q$. Поскольку $H \in \mathfrak{M}$, то $H/Q \simeq H/C^q(H) \in m(q)$. Если для K выполняется условие $\pi(\text{Com}(R)) \cap \omega = \emptyset$ или условие а), то $m(q) = (1)$. Тогда получаем, что $H = Q$ — группа простого порядка q , где $q \in \omega \setminus \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$. Заметим, что $q \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{M}))$. Тогда $q \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{K})) \setminus \pi(\text{Com}(\mathfrak{M}))$. Если $\pi(\text{Com}(R)) \cap \omega = \emptyset$, то $q \in \pi(\text{Com}(K/R))$. Но $K/R \in \mathfrak{H}$. Значит, $q \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$. Противоречие. Значит, такой случай не возможен. Следовательно, $\mathfrak{K} = \mathfrak{N}_p$. Но тогда $q = p$ и, значит, $H \in \mathfrak{N}_p$, что противоречит выбору группы H . Поэтому не возможен и случай, когда для K выполняется условие а). Пусть теперь для K выполняется условие б) и $p = t \in \omega \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$. Тогда $q = r \in \omega \cap \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$ и $m(q) = \text{form } T$. Поскольку $Q \not\subseteq \Phi(H)$, то найдется такая максимальная подгруппа N группы H , что $H = [Q]N$. Но $N \simeq H/Q \in m(q) = \text{form } T$. Значит, N — элементарная абелева p -группа. Являясь абелевой неприводимой группой автоморфизмов, группа N циклична. Поэтому $|N| = p$. Поскольку $O_p(H) = 1$, то по лемме 18.8 [1] существует точный неприводимый $F_p H$ -модуль V , где F_p — поле из p элементов. Положим $F = [V]H$. Поскольку $F/O_p(V) = F/V \simeq H \in f(p) = \text{form } H$, то по лемме 4 [3], $F \in \mathfrak{F}$. Значит, $c_\omega \text{form } F \subseteq \mathfrak{F}$. Если $c_\omega \text{form } F \subset \mathfrak{F}$, то $c_\omega \text{form } F \subseteq \mathfrak{M}$. Тогда по лемме 2 [8] получаем $H \simeq F/V = F/C^p(F) \in m(p) = (1)$. Противоречие. Следовательно, $\mathfrak{F} = c_\omega \text{form } F$. Таким образом, H удовлетворяет условию 3.2) теоремы.

Рассмотрим теперь случай, когда $m(p) = \text{form } T$, т. е. выполняется условие 5). Тогда $f(p) = \text{form}(G/P) = \mathfrak{N}_p \text{form } T$ -критическая формация. Пусть H — группа минимального порядка из $f(p) \setminus \mathfrak{N}_p \text{form } T$. Тогда H — монолитическая группа с цоколем $Q = H^{\mathfrak{N}_p \text{form } T}$ и $f(p) = \text{form}(G/P) = \text{form } H$.

Поскольку $H \in \mathfrak{M}$, то $c_\omega \text{form } H \subseteq \mathfrak{M} = \mathfrak{M}_1 \vee_\omega \mathfrak{K} \subseteq \mathfrak{N} \vee_\omega \mathfrak{N}_r \mathfrak{N} \subseteq \mathfrak{N}_r \mathfrak{N}$. Значит, $H \in \mathfrak{N}_r \mathfrak{N}$. Если H — ненильпотентная группа, то ввиду ее монолитичности получаем, что Q — r -группа. Но в рассматриваемом случае $p = r$. Значит, Q — p -группа. Кроме того, $H/Q \in \mathfrak{N}_p \text{form } T$. Отсюда следует, что $H \in \mathfrak{N}_p \text{form } T$. Противоречие. Поэтому H — нильпотентная группа. Тогда $|Q| = q$ и H — q -группа, где $q \neq p$. Аналогично вышесказанному нетрудно показать, что $\mathfrak{F} = c_\omega \text{form } F$, где $F = [V]H$, V — точный неприводимый $F_p H$ -модуль, F_p — поле из p

элементов. Так как $\text{form } T = m(p) \subseteq f(p) = \text{form } H$, то $q = t \in \pi(\text{Com}(\mathfrak{H}))$. Пусть M — максимальная подгруппа группы H . Если $M = 1$, то $H = Q$ и по теореме 1 [7] $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{F}$ равен 1. Противоречие. Значит, $M \neq 1$. Тогда согласно лемме 8.12 [1] $\text{form } M$ — максимальная подформация в $\text{form } H$. Значит, $\text{form } M \subseteq \mathfrak{N}_p \text{form } T$. Но M — q -группа и $q \neq p$. Значит, $\text{form } M \subseteq \text{form } T$. Таким образом, $\text{form } H$ — $\text{form } T$ -критическая формация. Кроме того, поскольку $M \in \text{form } T$, то M — элементарная абелева q -группа. Теперь ввиду монолитичности группы H получаем, что $|M| = q$. Если группа H — абелева группа, то она циклическа. Следовательно, H — группа порядка q^2 , т. е. H удовлетворяет условию 3.3) теоремы. Пусть теперь H — неабелева группа. Тогда в $\text{form } H$ содержится минимальная неабелева подформация $\mathfrak{K}_1$. Если $\mathfrak{K}_1 \subset \text{form } H$, то $\mathfrak{K}_1 \subseteq \text{form } T \subseteq \mathfrak{A}$. Противоречие. Значит, $\mathfrak{K}_1 = \text{form } H$. Теперь согласно лемме 18.13 [1], учитывая, что $H \in \mathfrak{N}$, получаем, что H либо группа кватернионов порядка 8, либо неабелева группа порядка q^3 простой нечетной экспоненты q . Если H — группа кватернионов порядка 8, то регулярное сплетение $F_1 = Z_p \sharp Z_4$, где Z_p и Z_4 — соответственно циклические группы порядков p и 4, принадлежит $\mathfrak{F} \setminus \mathfrak{M}$ и $c_\omega \text{form } F_1 \neq \mathfrak{F}$. Но всякая собственная c_ω -подформация из $\mathfrak{F}$ входит в $\mathfrak{M}$. Значит, $c_\omega \text{form } F_1 = \mathfrak{F}$. Противоречие. Следовательно, рассматриваемый случай невозможен. Таким образом, H — неабелева группа порядка q^3 простой нечетной экспоненты q , т. е. H удовлетворяет условию 3.4) теоремы.

Достаточность. Пусть $\mathfrak{F} = c_\omega \text{form } G$, где G — монолитическая группа с цоколем P и f — минимальный ω -композиционный спутник формации $\mathfrak{F}$.

Пусть группа G удовлетворяет условию 1). Поскольку группа G — $\mathfrak{M}$ -базисная, то единственная максимальная подформация формации $\text{form } G$ содержится в $\mathfrak{M}$. Так как $P = G^{\mathfrak{M}}$, то $G \notin \mathfrak{M}$. Значит, $f(\omega') = \text{form } G$ — $\mathfrak{M}$ -критическая. Следовательно, по теореме 1 [5] формация $\mathfrak{F}$ — $\mathfrak{M}_\omega$ -критическая. Понятно, что $\mathfrak{M} = (\mathfrak{F} \cap \mathfrak{H}) \vee_\omega c_\omega \text{form } (G/P) \subseteq \mathfrak{F}$. Так как $G \notin \mathfrak{M}$, то $\mathfrak{M} \subset \mathfrak{F}$. Значит, формация $\mathfrak{F}$ — c_ω -неприводима. Поскольку по условию $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $c_\omega \text{form } (G/P)$ равен 1, то из леммы 18 [6] получаем, что $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{M}$ равен 1. Следовательно, $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{F}$ равен 2.

Пусть группа G удовлетворяет условию 2). Предположим, что $q \in \omega$. Тогда по теореме 2 [9] формация $\mathfrak{F}$ c_ω -неприводима и ее единственная максимальная c_ω -подформация $\mathfrak{M}$ имеет ω -композиционный спутник m такой, что $m(a) = (1)$, если $a \in \{p, q, \omega'\}$ и $m(r) = \emptyset$, если $r \in \omega \setminus \pi(\text{Com}(G))$. Пусть $\overline{\mathfrak{M}} = \mathfrak{N}_p \vee_\omega \mathfrak{N}_q$ и $\overline{m}$ — ее минимальный ω -композиционный спутник. Тогда из лемм 10, 11 [4] и леммы 5 [3] получаем, что $\overline{\mathfrak{M}} = CF_\omega(\overline{m}) = CF_\omega(m) = \mathfrak{M}$. Но по теореме 2 [6] $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\overline{\mathfrak{M}}$ равен 1. Значит, $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{F}$ равен 2.

Предположим теперь, что $q \notin \omega$. Тогда по теореме 2 [9] формация $\mathfrak{F}$ c_ω -неприводима и ее единственная максимальная c_ω -подформация $\mathfrak{M}$ имеет ω -композиционный спутник m такой, что $m(\omega') = \text{form } H$, $m(p) = (1)$, $m(r) = \emptyset$, где $r \in \omega \setminus \pi(\text{Com}(G))$. Пусть $\overline{\mathfrak{M}} = \mathfrak{N}_p \vee_\omega c_\omega \text{form } H$ и $\overline{m}$ — ее минимальный ω -композиционный спутник. Тогда из лемм 10, 11 [4] и леммы 5 [3] получаем, что $\overline{\mathfrak{M}} = CF_\omega(\overline{m}) = CF_\omega(m) = \mathfrak{M}$. Но по теореме 1 [4] $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\overline{\mathfrak{M}}$ равен 1. Значит, $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{F}$ равен 2.

Пусть теперь группа G удовлетворяет условию 3). Если для группы H выполняются условия 3.1) или 3.2) теоремы, то по теореме 2 [9] формация $\mathfrak{F}$ c_ω -неприводима и ее единственная максимальная c_ω -подформация $\mathfrak{M}$ имеет ω -композиционный спутник m_1 такой, что

$$m_1(a) = \begin{cases} \text{form } (H/Q), & \text{если } a = p, \\ \text{form } (G/C^q(G)), & \text{если } a = q \in (\pi(\text{Com}(G)) \cap \omega) \setminus \{p\}, \\ \emptyset, & \text{если } a = q \in \omega \setminus \pi(\text{Com}(G)), \\ \text{form } (G/R_\omega(G)), & \text{если } a = \omega'. \end{cases}$$

Пусть для группы H выполняется условие 3.1) теоремы. Тогда спутник m_1 имеет следующие непустые значения: $m_1(p) = \text{form } (H/Q)$ и $m_1(\omega') = \text{form } H$. Если m — минимальный ω -композиционный спутник формации $\mathfrak{M}$, то по лемме 5 [3] получаем $m(p) = (1)$ и $m(\omega') = \text{form } H$. Пусть $\overline{\mathfrak{M}} = c_\omega \text{form } H$. Тогда, как нетрудно заметить, $\overline{\mathfrak{M}} = CF_\omega(m) = \mathfrak{M}$. Но по теореме 1 [7] $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\overline{\mathfrak{M}}$ равен 1. Значит, $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{F}$ равен 2.

Пусть для группы H выполняется условие 3.2) теоремы. Тогда спутник m_1 имеет следующие непустые значения: $m_1(p) = m_1(q) = \text{form } N$ и $m_1(\omega') = (1)$. Если m — минимальный ω -композиционный спутник формации $\mathfrak{M}$, то по лемме 5 [3] получаем $m(p) = m(\omega') = (1)$ и $m(q) = \text{form } N$. Пусть $\overline{\mathfrak{M}} = c_\omega \text{form } H$. Легко видеть, что $\overline{\mathfrak{M}} = CF_\omega(m) = \mathfrak{M}$. Но по теореме 1 [7] $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\overline{\mathfrak{M}}$ равен 1. Значит, $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{F}$ равен 2.

Пусть теперь для группы H выполняются условия 3.3) или 3.4) теоремы. Тогда по лемме 5 [3], $f(p) = \text{form } (G/P) = \text{form } H$.

Покажем прежде, что $\text{form } T$ — единственная максимальная подформация в $\text{form } H$. Пусть H — циклическая примарная группа порядка q^2 . Если M — максимальная подгруппа группы H , то $|M| = q$ и, значит, в силу леммы 8.12 [1], $\text{form } T$ — единственная максимальная подформация в $\text{form } H$. Если же H — неабелева группа порядка q^3 простой нечетной экспоненты q , то ввиду леммы 18.13 [1] получаем, что $\text{form } T$ — единственная максимальная подформация в $\text{form } H$.

Рассмотрим группу $F = [V]T$, где V — точный неприводимый $F_p T$ -модуль и T — группа простого порядка q . Пусть $\mathfrak{M} = c_\omega \text{form } F$. Так как $F/O_p(F) = F/V \simeq T \in \text{form } H = f(p)$, то по лемме 4 [3], $F \in \mathfrak{F}$. Значит, $\mathfrak{M} \subseteq \mathfrak{F}$. Если $\mathfrak{M} = \mathfrak{F}$, то $H \simeq G/P = G/C^p(G) \in m(p) = \text{form } T$. Откуда получаем, что $\text{form } H \subseteq \text{form } T$, что противоречит сказанному в предыдущем абзаце. Поэтому $\mathfrak{M} \subset \mathfrak{F}$.

Покажем, что каждая собственная c_ω -подформация $\mathfrak{H}_1$ из $\mathfrak{F}$ содержится в $\mathfrak{M}$. Пусть m и h_1 — минимальные ω -композиционные спутники формаций $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{H}_1$ соответственно. Поскольку $\mathfrak{H}_1 \subset \mathfrak{F}$, то найдется такое простое число $a \in \omega \cup \{\omega'\}$, что $h_1(a) \subset f(a)$.

Пусть $q \in \omega$. Тогда $f(q) = f(\omega') = (1)$ и $f(r) = \emptyset$ для всех $r \in \omega \setminus \pi(\text{Com}(G))$. Поскольку $m(p) = \text{form } T$ — единственная максимальная подформация в $f(p) = \text{form } H$, то $h_1(p) \subseteq m(p)$. Пусть $a = p$. Поскольку $h_1(b) \subseteq f(b) = m(b)$ для всех $b \in (\omega \cup \{\omega'\}) \setminus \{p\}$, то по лемме 6 [3], $\mathfrak{H}_1 \subseteq \mathfrak{M}$. Если же $a = q$ или $a = \omega'$, то $h_1(q) = \emptyset \subseteq m(q) = m(\omega') = (1)$ и $h_1(\omega') \subseteq f(\omega') = m(\omega') = (1)$ или, соответственно, $h_1(\omega') = \emptyset \subseteq m(q) = m(\omega') = (1)$ и $h_1(q) \subseteq f(q) = m(q) = (1)$. Значит, по лемме 6 [3], $\mathfrak{H}_1 \subseteq \mathfrak{M}$.

Пусть теперь $q \notin \omega$. Тогда $f(\omega') = \text{form } H$ и $f(r) = \emptyset$ для всех $r \in \omega \setminus \pi(\text{Com}(G))$. Так как $m(p) = m(\omega') = \text{form } T$ — единственная максимальная подформация в $f(p) = f(\omega') = \text{form } H$, то $h_1(p) \subseteq m(p)$ и $h_1(\omega') \subseteq m(\omega')$. Кроме того, очевидно, $h_1(r) \subseteq m(r)$ для всех $r \in \omega \setminus \pi(\text{Com}(G))$. Значит, по лемме 6 [3], $\mathfrak{H}_1 \subseteq \mathfrak{M}$.

Таким образом, $\mathfrak{M}$ — единственная максимальная c_ω -подформация в $\mathfrak{F}$. Согласно теореме 1 [7] $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект формации $\mathfrak{M}$ равен 1. Следовательно, формация $\mathfrak{F}$ c_ω -неприводима и ее $\mathfrak{H}_\omega$ -дефект равен 2. Теорема доказана.

Литература

1. Шеметков, Л.А. Формации алгебраических систем / Л.А. Шеметков, А.Н. Скиба. — М.: Наука, 1989. — 253 с.
2. Скиба, А.Н. Алгебра формаций / А.Н. Скиба. — Мн.: Беларуская навука, 1997. — 240 с.
3. Шеметков, Л.А. Кратно $\mathfrak{L}$ -композиционные формации конечных групп / А.Н. Скиба, Л.А. Шеметков // Украинский математический журнал. — 2000. — том 52, № 6. — С. 783-797.
4. Жизневский, П.А. Формации групп с максимальной $\mathfrak{L}$ -композиционной нильпотентной подформацией / П.А. Жизневский, В.Г. Сафонов // Вестник Полоцкого госуниверситета. Серия С. Фундаментальные науки. — 2007. — № 9. — С. 30-36.
5. Белоус (Буюкевич), Л.И. О минимальных τ -замкнутых ω -композиционных не $\mathfrak{H}$ -формациях / Л.И. Белоус; Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. — 2006. — № 4. — С. 21-25.

6. Жизневский, П.А. О τ -замкнутых n -кратно ω -композиционных формациях с булевой подрешеткой / П.А. Жизневский. — Препринт ГГУ им. Ф. Скорины, Гомель. — 2010. — № 3. — 24 с.
7. Жизневский, П.А. О критических частично композиционных формациях / П.А. Жизневский, В.Г. Сафонов // Вес. Нац. акад. наук. Беларуси. Сер. фіз.-мат. навук. — 2010. — № 3. — С. 44-49.
8. Скиба, А.Н. О минимальном композиционном экране композиционной формации / А.Н. Скиба, Л.А. Шеметков // Вопросы алгебры. — 1992. — Вып. 7. — С. 39-43.
9. Задорожнюк, М.В. О c_ω^τ -неприводимых формациях конечных групп / М.В. Задорожнюк // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. — 2006. — № 4. — С. 15-20.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 25.01.11

Влияние запаздывания в звене Дуффинга на стационарные состояния неавтономного осциллятора Ван дер Поля-Дуффинга

Р. И. КОРЖИК

Исследовано влияние запаздывания в звене Дуффинга на динамические режимы укороченного уравнения неавтономного осциллятора Ван дер Поля-Дуффинга с внешним гармоническим воздействием. Выведено укороченное уравнение и построены карты динамических режимов для различных значений параметра, характеризующего запаздывание.

Ключевые слова: осциллятор Ван дер Поля-Дуффинга, стационарные состояния, влияние запаздывания, укороченное уравнение, внешнее периодическое воздействие, критерий устойчивости Рауса-Гурвица, бифуркации.

The influence of delay in Duffing link on the dynamical regimes of abridged equation of van der Pol-Duffing non-autonomous oscillator with an external harmonic influence is investigated in the article. The abridged equation is derived and the maps of dynamical regimes for different values of the parameter characterizing the delay are presented.

Keywords: van der Pol-Duffing oscillator, stationary states, influence of delay, abridged equation, external periodic effect, Routh-Hurwitz stability criterion, bifurcation.

В статьях [1] и [2] исследовалось влияние запаздывания на стационарные состояния неавтономного осцилляторов Ван дер Поля и Дуффинга, которые задаются соответственно уравнениями (1) и (2)

$$\ddot{x}_t - (\lambda - \beta x_{t-\delta}^2) \dot{x}_{t-\delta} + x_t = b \sin \omega t, \quad (1)$$

$$\ddot{x}_t + \gamma \dot{x}_t + \omega_0^2 x_t + \beta x_{t-\delta}^3 = b \sin \omega t. \quad (2)$$

В ходе исследования было выяснено, что варьирование запаздывания может привести к изменению режима работы системы. Рассмотрим более общий случай неавтономного осциллятора Ван дер Поля-Дуффинга с запаздыванием в звене, соответствующим уравнению Дуффинга:

$$\ddot{x}_t - (\lambda - \alpha x_t^2) \dot{x}_t + \omega_0^2 x_t + \beta x_{t-\delta}^3 = b \sin \omega t, \quad (3)$$

где $x_t = x(t)$, $x_{t-\delta} = x(t-\delta)$, параметр $\beta > 0$ введен по аналогии с параметром в осцилляторе Дуффинга, b, ω – амплитуда и частота внешнего гармонического воздействия, $\delta \geq 0$ – запаздывание в звене Дуффинга.

1 Вывод укороченного уравнения

Как и в работах [1–3], решение этого уравнения будем искать в виде квазигармонического колебания с медленно меняющейся амплитудой A_t :

$$x(t) = \operatorname{Re} \left(A(t) e^{i\omega t} \right) = \frac{1}{2} A(t) e^{i\omega t} + \frac{1}{2} A^*(t) e^{-i\omega t}, \quad (4)$$

накладывая на искомое решение дополнительное условие

$$\dot{A} e^{i\omega t} + \dot{A}^* e^{-i\omega t} = 0.$$

После подстановки (4) в (3) и усреднения за период $\frac{2\pi}{\omega}$ получаем укороченное урав-

нение:

$$\dot{A} + i \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\omega} A - \frac{\lambda}{2} A + \left(\frac{\alpha}{8} - \frac{3\beta}{8\omega} i e^{-i\delta\omega} \right) |A|^2 A + \frac{b}{2\omega} = 0. \quad (5)$$

Уравнение (5) можно свести к уравнению с меньшим числом параметров:

$$\dot{z}_\tau + i\Delta z_\tau - z_\tau - (\mu i e^{-i\theta} - 1) |z_\tau|^2 z_\tau + \varepsilon = 0, \quad (6)$$

где

$$\tau = \frac{\lambda t}{2}, \quad z_\tau = A_t \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda}}, \quad \Delta = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\lambda \omega}, \quad \varepsilon = \frac{b}{2\omega \lambda} \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda}}, \quad \theta = \delta\omega, \quad \mu = \frac{3\beta}{\alpha\omega}.$$

Функцию z_τ можно записать в виде $R_\tau e^{i\phi_\tau}$, где R_τ и ϕ_τ – некоторые функции действительного переменного τ , принимающие действительные значения.

Тогда, выделяя в (6) действительную и мнимую части, приходим к системе уравнений:

$$\begin{cases} \dot{R} = (\mu \sin \theta - 1) R^3 + R - \varepsilon \cos \phi, \\ \dot{\phi} = \mu R^2 \cos \theta - \Delta + \frac{\varepsilon}{R} \sin \phi. \end{cases} \quad (7)$$

2 Построение и анализ бифуркационных диаграмм

При помощи критерия Рауса-Гурвица можно получить условие устойчивости стационарного состояния (R_0, ϕ_0) :

$$\begin{aligned} 0 &< 3(\mu^2 - 2\mu \sin \theta + 1)\xi_0^2 + 4(\mu \sin \theta - \Delta\mu \cos \theta - 1)\xi_0 + \Delta^2 + 1, \\ 0 &> 2(\mu \sin \theta - 1)\xi_0 + 1, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\xi_0 = R_0^2$.

Само значение ξ_0 будет задаваться уравнением

$$(\mu^2 - 2\mu \sin \theta + 1)\xi_0^3 + 2(\mu \sin \theta - \Delta\mu \cos \theta - 1)\xi_0^2 + (\Delta^2 + 1)\xi_0 = \varepsilon^2. \quad (9)$$

На основе неравенств (8) и уравнения (9) можно построить линии бифуркации. На рисунке 1 приведены полученные линии для системы без запаздывания в плоскости параметров $\Delta - \varepsilon$. На нем видно пять различных областей. Хотя на самом деле областей шесть. Шестая область будет более отчетливо видна при наличии запаздывания.

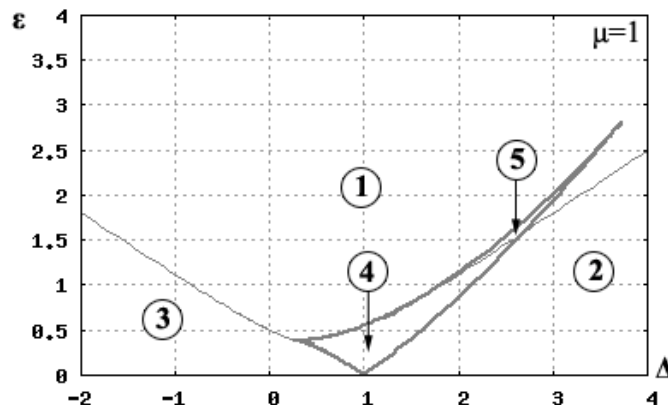


Рисунок 1 – Линии бифуркаций при отсутствии запаздывания в плоскости параметров $\Delta - \varepsilon$.

Для описания поведения системы при различных значениях параметров возьмем в пространстве параметров некоторую точку и будем ее постепенно перемещать между областями. При пересечении жирной линии будет меняться количество стационарных состояний, а при пересечении тонкой линии – одно из стационарных состояний будет менять свою устойчивость.

Если параметры системы будут соответствовать первой области, то на фазовом портрете будет одно устойчивое стационарное состояние. Если из первой области переместиться во вторую, то произойдет пересечение тонкой линии. Во второй области по-прежнему будет одно стационарное состояние, но оно будет неустойчивым. Это неустойчивое стационарное состояние будет находиться внутри устойчивого предельного цикла. При перемещении в четвертую область происходит пересечение жирной линии. Поэтому в четвертой области будет три стационарных состояния: одно устойчивое и два неустойчивых (одно из них будет седлом). В пятой области будет два устойчивых состояния равновесия и одно седло. Режим функционирования системы в третьей области схож с режимом функционирования во второй области.

Если начать изменять параметр θ в пределах полуинтервала $[0, \pi/2)$, то это будет приводить к деформированию линий бифуркаций. На рисунках 2а и 2б показаны бифуркационные диаграммы для различных значений параметра θ .

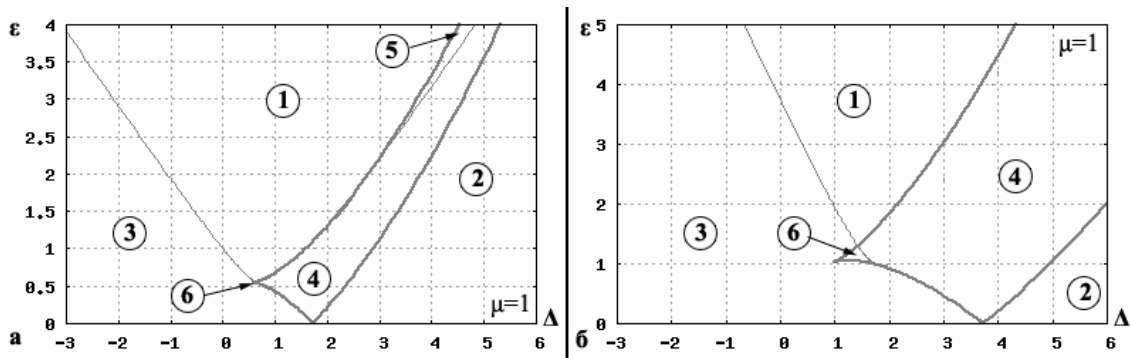


Рисунок 2 – Линии бифуркаций при $\theta = \pi/6$ (а) и при $\theta = \pi/3$ (б) в плоскости параметров $\Delta - \varepsilon$.

На рисунке 3а и 3б приведены диаграммы для $\theta \in (\pi/2; \pi)$. Из рисунка видно, что линии бифуркаций при $\theta = \theta' \in (\pi/2; \pi)$ и линии бифуркаций для $\theta = \pi - \theta'$ симметричны относительно прямой $\Delta = 0$.

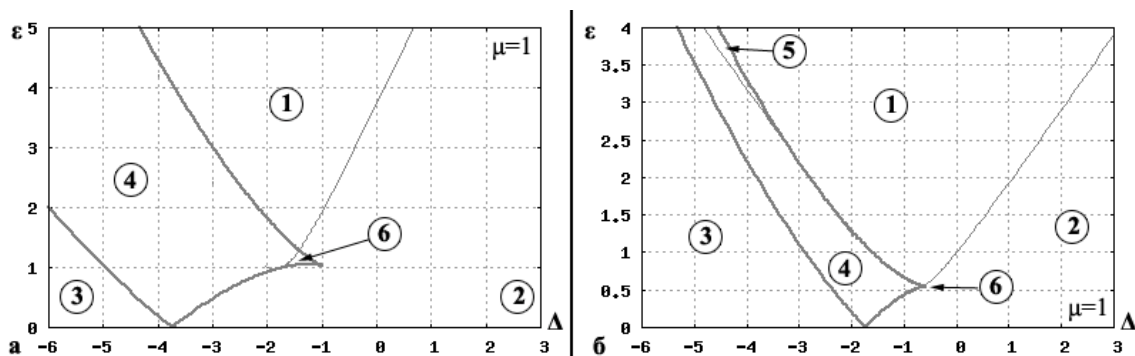


Рисунок 3 – Линии бифуркаций при $\theta = 2\pi/3$ (а) и при $\theta = 5\pi/6$ (б) в плоскости параметров $\Delta - \varepsilon$.

Когда параметр $\theta \in (\pi; 3\pi/2)$, диаграммы выглядят немного по-другому. Линии бифуркации приведены на рисунках 4а, 4б и 5а, 5б. В самих областях в системе по-прежнему наблюдается такое же количество состояний равновесия. Бифуркационные диаграммы при $\theta = \theta' \in (3\pi/2; 2\pi)$ и бифуркационные диаграммы при $\theta = 3\pi - \theta'$ также симметричны относительно прямой $\Delta = 0$.

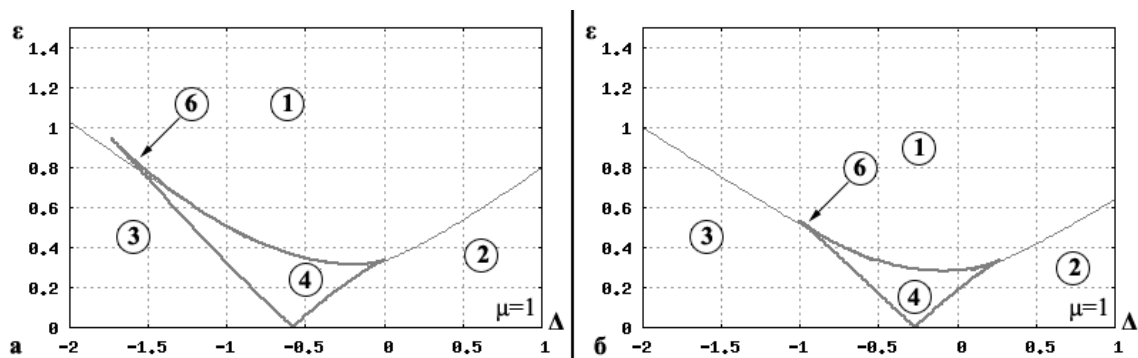


Рисунок 4 – Линии бифуркаций при $\theta = 7\pi/6$ (а) и при $\theta = 4\pi/3$ (б) в плоскости параметров $\Delta - \varepsilon$.

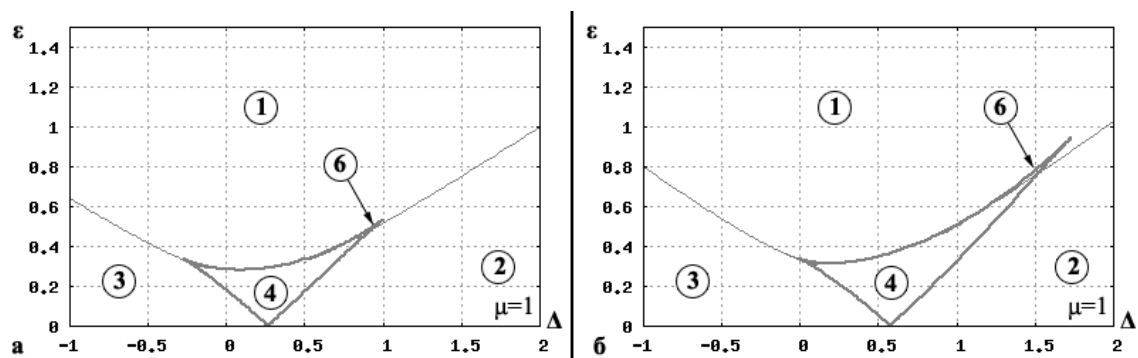


Рисунок 5 – Линии бифуркаций при $\theta = 5\pi/3$ (а) и при $\theta = 11\pi/6$ (б) в плоскости параметров $\Delta - \varepsilon$.

Заключение

Из полученных бифуркационных диаграмм видно, что изменение запаздывания при неизменных остальных параметрах может приводить к изменению устойчивости стационарных состояний, а также к изменению их количества.

Стоит также отметить, что при наличии запаздывания на основе приведенных диаграмм можно судить только о количестве стационарных состояний и их устойчивости. Наличие предельных циклов требует дальнейшего исследования. При наличии запаздывания и при определенных остальных параметрах системы, на фазовой плоскости может наблюдаться, к примеру, устойчивый фокус, окруженный неустойчивым предельным циклом, который в свою очередь находится внутри другого устойчивого предельного цикла.

Литература

1. Коржик, Р. И. Влияние запаздывания на стационарные состояния неавтономного осциллятора Ван-дер-Поля / Р. И. Коржик, С. П. Жогаль // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2010. – №3 (60). – С. 206-210.
2. Коржик, Р. И. Влияние запаздывания в неавтономном осцилляторе Дуффинга на стационарные состояния укороченного уравнения / Р. И. Коржик, С. П. Жогаль // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя П. М. Машэрава. – 2010. – №5 (59). – С. 8-11.
3. Кузнецов, А. П. Нелинейные колебания / А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов, Н.М. Рыскин. – М.: Физматлит, 2002. – 292 с.

Пример применения метода корреляционно-регрессионного анализа в производственной проблеме

Н. Б. ОСИПЕНКО, А. Н. ОСИПЕНКО, М. Н. ВАСЕНДА, С. П. ЖОГАЛЬ, С. И. ЖОГАЛЬ

Статья посвящена методу поэтапного экспертно-статистического моделирования субъективных и объективных факторов производственной проблемы.

Ключевые слова: целевое свойство, корреляционный анализ, регрессионный анализ, причинно-следственные связи.

The article deals with an expert-statistical phase modelling method for analysis of subjective and objective factors of a production problem.

Keywords: aim property, correlation analysis, regression analysis, cause-and-effect relations.

Введение. Методологическая проблема обеспечения корректности совместного статистического анализа субъективных и объективных факторов производства до сих пор далека от своего разрешения. Традиционные подходы обычно игнорируют реальную иерархическую структуру факторов эффективности производства, что приводит к оперированию в одной плоскости анализа с качественно разнородными признаками. Далее предлагается конкретный вариант корректного анализа на примере производства молока в 1999 г. на загрязнённых радионуклидами территориях Столинского и Наровлянского районов с учётом стратегических задач их развития с использованием данных института Радиологии. С целью переноса этого метода на любое другое производство используется соответствующая обобщающая терминология.

Адаптация сельскохозяйственных предприятий к рыночным условиям предполагает проведение предварительной аналитической работы по выявлению стратегии их переспециализации. Из всех существующих здесь проблем наиболее острой является проблема преобразования (развития или ликвидации) молочной отрасли хозяйств. Для того, чтобы обеспечить комплексное обоснование соответствующих решений, предлагается следующая методика выделения факторов эффективности молочного производства по статистическим данным.

Описание метода. Пусть в распоряжении исследователя имеются статистические данные, характеризующие молочное производство в N хозяйствах. Предполагается, что выборка хозяйств достаточно представительна и отражает имеющееся разнообразие основных факторов эффективности молочного производства.

В качестве целевого свойства выбран показатель недобора среднемесячного удоя молока в зимне-стойловый период (именно в этот период наблюдаются наиболее значительные потери удоя):

$$\Delta UD = \begin{cases} 0, & \text{если } UD > UD_{max} \\ (UD_{max} - UD)/UD, & \text{если } UD \leq UD_{max} \end{cases},$$

где UD_{max} — условный максимум среднемесячного удоя в исследуемом регионе.

Основная идея предлагаемой методики оценки потерь удоя состоит в поэтапном объяснении целевого свойства (ЦС), начиная с модели непосредственного объяснения ЦС (т.е. модели прямого формирования ЦС при определённом носителе ЦС, определённым субъектом с помощью определённого инструмента, используя в определённых условиях определённые средства) [1]. Интерпретация этой схемы для случая с моделью непосредственного объяснения формирования удоя молока представлена на рис. 1 для процессов кормления и доения, напрямую связанных с получением молока от коров.

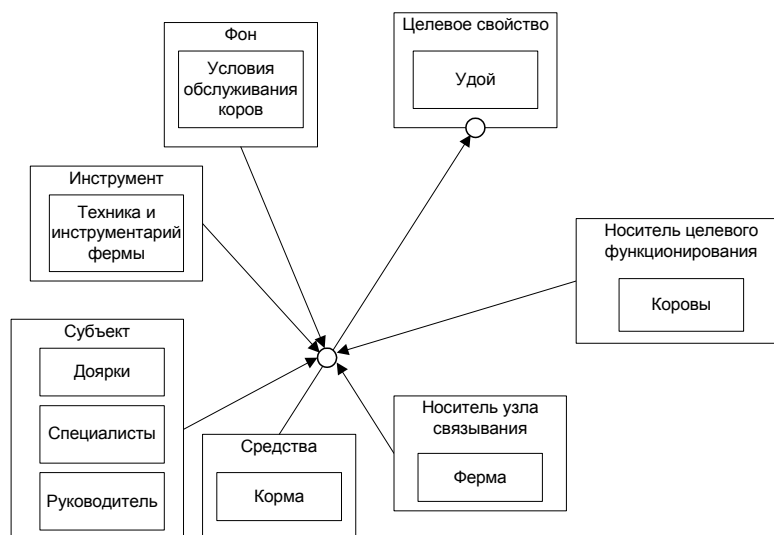


Рисунок 1 – Схема влияния кормления на удой

Для построения эмпирических функций, объясняющих формирование целевого свойства, используется аппарат нелинейной регрессии. При этом предварительно по каждому компоненту объясняющей схемы собираются описывающие его признаки. В результате построения регрессии объясняющих признаков на целевой функции мы получаем параметры взаимосвязи, с помощью которых можем оценить вклад (вес) каждого из компонентов в формирование основного свойства. После этого соответствующие веса влияния отображаются на графике причинно-следственных связей факторов формирования целевого свойства с помощью трех качественных градаций: слабая, умеренная и сильная связь (рис. 2). Обычно при построении моделей целевого свойства работают либо с моделью непосредственного объяснения (при этом строят естественным образом интерпретируемую расчётную формулу оценки ЦС), либо с моделью косвенного объяснения по наиболее информативным признакам, полностью отвлекаясь от структуры причинно-следственных факторов. В данной методике предлагается развить первый подход с целью построения иерархической сети объясняющих функций. На первом уровне этой сети объясняется само целевое свойство. На втором уровне строятся функции объяснения информативных факторов первого уровня и т. д. Так, на втором уровне (рис. 2) строится модель объяснения такого компонента схемы кормления и доения, как носитель ЦС (т.е. коров). Для этого используется соответствующее целевое свойство качества коров, выражающееся в качестве здоровья и репродуктивных функций и представленное показателем яловости. Необходимо отметить, что большинство из факторов сети взаимозависимы и ряд из них может одновременно участвовать в объясняющих функциях на нескольких уровнях. В особенности это относится к субъективным факторам (качество работы руководителя, качество работы специалистов, активность жизненной позиции членов коллектива).

В данной сети факторов формирования целевого свойства (недобора удоя) факторы качества руководителя и специалистов являются интегрирующими, т. к. они опосредствованно (через исполнителей) участвуют во всех процессах производства. Не случайно поэтому, что, если по окончании построения сети причинно-следственных связей собрать все информативные признаки в одно уравнение регрессии, эти субъективные показатели оказываются наиболее весомыми.

Пример реализации данной методики представлен на рис. 2, где изображен график причинно-следственных связей формирования недобора удоя молока по данным Наровлянского и Столинского районов.

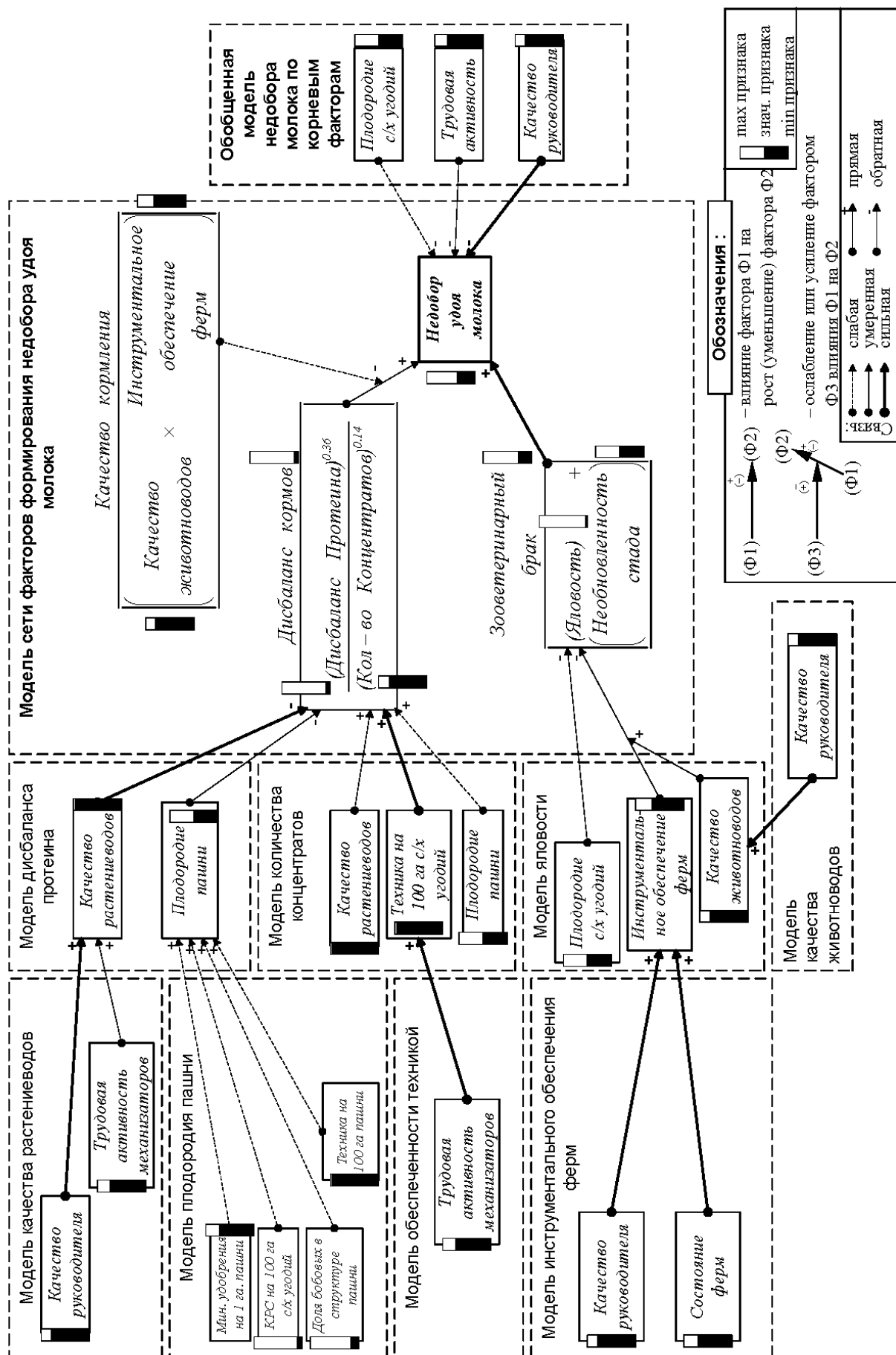


Рисунок 2 – Модель сети факторов формирования недобора удоа молока по колхозу «Головчицы» Наровлянского района

Описание используемых признаков. ЗООТЕХН.БРАК=ЯЛОВОСТЬ+НЕОБНОВЛЕННОСТЬ СТАДА,

где ЯЛОВОСТЬ – доля не отелившихся в течение года коров;

НЕОБНОВЛЕННОСТЬ СТАДА = (1- доля введенных в стадо нетелей);

ДИСБАЛАНС КОРМОВ = (КОНЦЕНТРАТЫ)^{-0,14} * (ДИСБАЛАНС ПРОТЕИНА в КЕ рациона)^{0,36},

где ДИСБАЛАНС ПРОТЕИНА=|1-(ПРОТ / ПРОТ_н)*ПУ |, ПРОТ – содержание протеина в рационе, ПРОТ_н – норма содержания протеина в рационе, КОНЦЕНТРАТЫ – процент концентратов (комбикормов) в структуре рациона, ПУ – показатель поедания кормов рациона:

$$ПУ = \begin{cases} КЕ / КЕН, & \text{если } КЕ < КЕН \\ КЕ / (КЕН * (1 + 15 * ((КЕ - КЕН) / КЕН)^2)) \end{cases},$$

КЕ – количество кормовых единиц в рационе; КЕН – норма количества кормовых единиц в рационе, К_к – процент комбикормов в структуре рациона;

КРС на пашню – количество условных голов КРС, приходящееся на 1 га пашни (данный показатель характеризует потенциальную величину органических удобрений);

ТРАКТОРА на 1 га – количество исправных тракторов (на август месяц), приходящееся на 1 га сельхозугодий;

КАЧЕСТВО ЖИВОТНОВОДОВ = (БрЖив^Р + Доярки³ + (ГлЗоот^Р + 0,3*ГлИнж^Р)/1,3 +
+ (ГлЗоот^{ТК} + 0,5*ЗавФермы^{ТК} + 0,3*ГлИнж^{ТК})/1,8)/4,

где БрЖив^Р, ГлЗоот^Р, ГлИнж^Р - оценки бригадира животноводов, главного зоотехника и главного инженера, данные руководителем хозяйства; ГлЗоот^{ТК}, ЗавФермы^{ТК}, ГлИнж^{ТК} - оценки главного зоотехника, заведующих фермами и главного инженера, данные трудовым коллективом по результатам опроса работников хозяйства по специальной анкете, составленной сотрудниками Института Социологии НАН РБ (Р. А. Смирнова и С. А. Шавель);

Доярки³ – показатель качества доярок, в котором учитывается стаж работы и оценка качества работы, данная главным зоотехником хозяйства;

КАЧЕСТВО РАСТЕНИЕВОДОВ = (БрМех^Р + 0,5*ГлИнж^Р + 0,5*ГлАгр^Р + 0,5*ГлАгр^{ТК} + 0,5*ГлИнж^{ТК})/3;

КАЧЕСТВО РУКОВОДИТЕЛЯ - средневзвешенная оценка руководителя хозяйства, данная ему представителями трудового коллектива и вышестоящим районным руководством (председателем исполкома и его заместителем по сельскому хозяйству). Оценка руководителя проводилась по специальному опроснику, включающему десять показателей качества работы;

ГОТОВНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ К ПЕРЕМЕНАМ – комплексный показатель, полученный в результате опроса членов трудового коллектива, и составленный по вопросам, отражающим: форму контроля над работниками хозяйства; желание повысить свою квалификацию; достоинства и недостатки колхозно-совхозной формы хозяйствования; возможности акционирования, отношение к купле-продаже земли, желание стать фермером, причины недостатков в работе трудового коллектива; источники улучшения работы хозяйства, отношение к хозрасчетным формам хозяйствования и причины, мешающие такому переходу.

Основные результаты моделирования. Основным практическим итогом всех вышеперечисленных построений являются графы причинно-следственных связей факторов формирования потерь удоя молока по каждому исследованному хозяйству. Анализируя такой граф, можно сформировать общую стратегию вывода хозяйства на более высокие показатели удоя молока. В свою очередь, придерживаясь этой стратегии, можно поэтапно сформировать оптимальный бизнес-план развития молочного производства в хозяйстве.

В целом, каркас настоящей методики можно адаптировать к таким целевым свойствам, как потери привеса мяса, потери урожая зерновых и т.д.

На основании графа причинно-следственных связей факторов формирования недобора удоя молока (рис.1), построенного по данным шести хозяйств Наровлянского и четырех Столинского района согласно изложенной выше методике, приходим к выводам.

Основной непосредственный вклад в недобор удоя молока вносят:

– дисбаланс кормов, выраженный в дисбалансе протеина в кормовой единице рациона (причем наблюдается различие Наровлянского и Столинского районов: в первом в основном идет превышение нормы по кормовым единицам и протеину, во втором – преимущественно

занижение) и малом количестве концентратов в структуре рациона. При этом уменьшению недобора удоя способствует более высокий показатель качества кормления;

- зооветеринарный брак (описан яловостью коров и низкой обновляемостью стада).

В свою очередь, уменьшению дисбаланса протеина способствуют (согласно соответствующей модели) повышение качества работы растениеводов и плодородия пашни (при этом качество работы растениеводов в первую очередь определяется качеством работы руководителя и трудовой активностью механизаторов). В модели количества концентратов наиболее весомыми оказались факторы: наличие техники (зависящее в основном от трудовой активности механизаторов) и качество работы растениеводов.

Как видно из рис. 1, с более низким показателем яловости оказались связаны: более плодородные сельхозугодия, лучшее инструментально-техническое обеспечение ферм и качество работы животноводов (при этом инструментально-техническое обеспечение ферм зависит от качества работы руководителя и состояния ферм, а качество работы животноводов главным образом определяется качеством работы руководителя).

Собрав по всей цепи графа причинно-следственных связей наиболее информативные факторы формирования недобора удоя молока, была построена обобщенная модель недобора удоя молока (рис. 1). Главный вклад в недобор удоя вносит низкое качество работы руководителя. Далее по важности идет трудовая активность коллектива и плодородие сельскохозяйственных угодий. Наряду с показателями состояния фермы и его технологического обеспечения эти факторы являются базовыми для принятия решений о реформировании молочной отрасли в хозяйстве.

Для анализа состояния дел с организацией сельскохозяйственного производства были использованы графы причинно-следственных связей факторов формирования потерь удоя молока в 14 хозяйствах Наровлянского и Столинского районов. При этом основное внимание уделялось сильным и слабым сторонам этих хозяйств. В качестве примеров приведем краткие результаты такого анализа в наиболее характерных хозяйствах.

Колхоз «Головчицы» Наровлянского района (рис. 2). Это хозяйство обладает рядом существенных преимуществ в сравнении с другими хозяйствами района. Так, здесь в основном решена проблема дисбаланса кормов за счет хороших урожаев кукурузы на силос, обусловленных в свою очередь высокими показателями внесения минеральных удобрений и техники (см. на рис. 2 столбики с отмеченными на них относительными значениями этих признаков: пустой столбик соответствует минимальному среди всех десяти хозяйств значению признака, заполненный — максимальному). Очень низкий в данном хозяйстве и зоотехнический брак. Яловость почти равна нулю. Необходимо при этом учесть, что на фермах этого хозяйства в основном обновленное стадо с большим количеством первотелок, в частности, на ферме центральной усадьбы, где удой молока достигают 4000 и более литров в год.

Как видно из графа причинно-следственных связей (рис. 2), общий положительный итог в основном определило качество руководителя, а также активная позиция и добросовестное отношение к делу основных исполнителей работ, что на рисунке отражено высоким значением показателя готовности населения к переменам.

Совхоз «Братство» Наровлянского района. Неудовлетворительность работы этого хозяйства связана как с субъективными, так и с объективными причинами. К первой из них следует отнести конфликтное отношение руководителя хозяйства практически со всем трудовым коллективом и населением. Большинство членов трудового коллектива долгое время находилось в состоянии апатии или отчаяния из-за длительной невыплаты заработной платы. Основной причиной потерь удоя молока также, как и в большинстве других хозяйств, является необновленность стада и большой показатель яловости, обусловленный, в свою очередь, низким плодородием почвы, неудовлетворительным состоянием ферм и их инструментального обеспечения.

Таким образом, предложенный выше метод сравнительного анализа позволяет достаточно надежно выявлять степень влияния субъективного фактора и рассчитывать на базе этого

эффективность мероприятий по совершенствованию кадрового потенциала. Как видно из результатов моделирования, экономия на этом факторе обходится государству очень дорого.

Литература

1. Осипенко, А.Н. Метод и средства автоматизации моделирования активных систем: Автореф. дис... канд.техн.наук: ГГУ, Гомель(1997).

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 15.05.11

ФИЗИКА

УДК 535.37

Структурные свойства SBT-слоев, синтезированных золь-гель методом

В. В. Сидский, А. В. Семченко, В. Е. Гайшун,
С. А. Сорока, А. А. Сидерко, Л. В. Судник

Предлагается использование золь-гель метода для синтеза SBT-пленок, которые применяются в качестве сегнетоэлектриков в устройствах с энергонезависимой памятью. Степень кристаллизации SBT-пленок увеличивается с увеличением температуры отжига, а также зависит от типа подложки, о чем свидетельствуют рентгеновские спектры пленок.

Ключевые слова: золь-гель метод, SBT-пленки, сегнетоэлектрик, энергонезависимая память, рентгенограммы

The sol-gel method is appropriate for the synthesis of SBT-films for subsequent application in ferroelectric random access non-volatile memory. The degree of crystallization of SBT-films increases with the increasing of annealing temperature, and also depends on the type of substrate, as evidenced by X-ray spectra of the films.

Keywords: sol-gel method, SBT-films, ferroelectric, non-volatile memory, X-ray diffraction

Появление сегнетоэлектрической керамики с общей структурной формулой $\text{Sr}(\text{Bi}_x\text{Ta}_x)\text{O}_9$ (SBT) для применения в устройствах с энергонезависимой памятью стало огромным шагом в компьютерном производстве, так как сегнетоэлектрическая оперативная память работает в 100 000 раз быстрее (цикл записи составляет 100 нс) и потребляет при этом как минимум на порядок меньше энергии [1]. SBT-керамика отличается низким рабочим напряжением, что требует формирования рабочего элемента в виде субмикронных пленок, а также низким коэрцитивным полем и достаточным значением величины пробоя диэлектрика по сравнению с PZT-керамикой. Поэтому поиск метода синтеза вышеуказанных сегнетокерамических покрытий с требуемыми свойствами является актуальной научно-технической задачей.

Для получения сегнетоэлектриков нами предлагается золь-гель метод – один из перспективных методов синтеза кристаллических наноструктур с прогнозируемыми свойствами. Этот метод открывает возможность создания целого ряда новых золь-гель пленок и на их основе устройств, стойких к радиации и другим проникающим излучениям.

Материалы и методика эксперимента

Оптимизация условий приготовления исходного коллоидного раствора и формирования SBT-покрытия обеспечивалась путем контроля свойств исходных растворов (золей). Золь формируется путем гидролиза и совместной конденсации смеси начальных растворов.

Для получения сегнетоэлектрических покрытий состава Sr-Bi-Ta (SBT-покрытий) использовали рабочий плёнообразующий раствор, содержащий металлоорганические соединения и нитраты металлов Sr:Bi:Ta с мольным соотношением 1:1:2.

Для созревания золя его выдерживают при температуре окружающей среды (22 – 25 °С) в течение 2 – 3 дней. По изменению вязкости в зависимости от времени созревания определяют стабильность золя и его пригодность для последующего процесса нанесения пленок. Золь пригоден в течение одного месяца при температуре хранения 5 – 10 °С.

Перед нанесением на подложку золь подогревается до комнатной температуры (20 – 22 °С).

Золь наносили в производственных условиях ОАО «Интеграл» на установке SOG 02 SEMIX on Glass методом центрифугирования; частота вращения подложки составляла от 500 до 2500 об/мин. После нанесения золь пластины прошли ступенчатую термообработку от 80 до 350 °С, а затем отжиг в атмосфере кислорода при температуре 750 °С.

Результаты и обсуждение

Исследования поверхности полученных SBT-покрытий проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а также методом сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Анализ данных СЗМ исследовали с помощью модульной программы Gwyddion [2]. Данная программа предназначена для анализа полей высот, полученных различными техниками сканирующей зондовой микроскопии (АСМ, МСМ и т.д.). Gwyddion. Gwyddion является свободным программным обеспечением. Для исследования поверхности SBT-покрытий выбран высокоразрешающий атомно-силовой микроскоп (АСМ) SOLVER P 47 – PRO (производство фирмы «NT – MDT», Россия). Для исследования структурных свойств SBT-покрытий был произведен рентгенофазовый анализ на приборе ДРОН-3М.

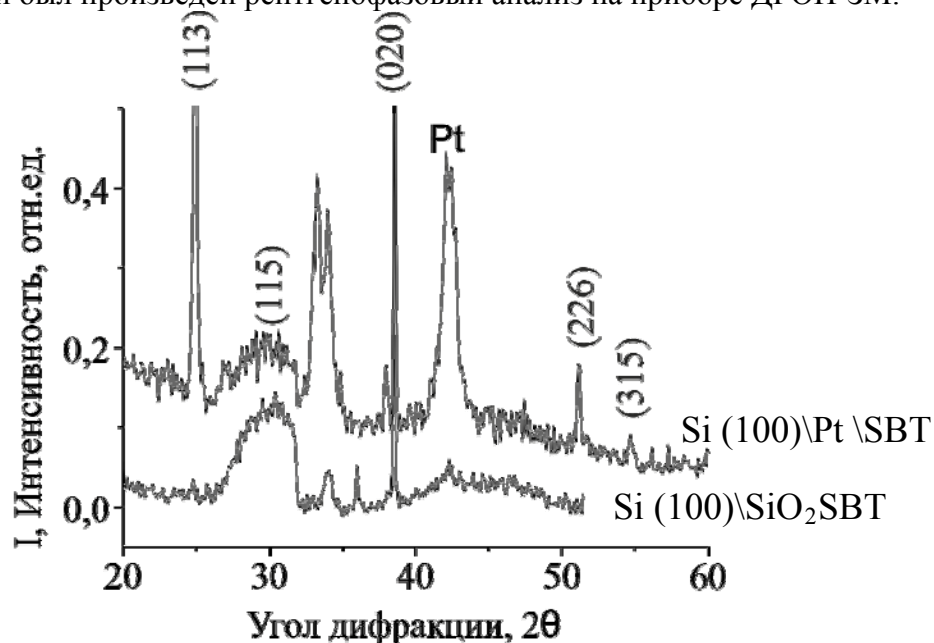


Рисунок 1 – Рентгеновские спектры SBT-покрытий, нанесенных на платиновый подслей (а) и оксидный подслей кремния (б)

Из рисунка 1 видно, что применение в качестве подложки кремния с оксидным подслоем заметно снижает степень кристалличности покрытия.

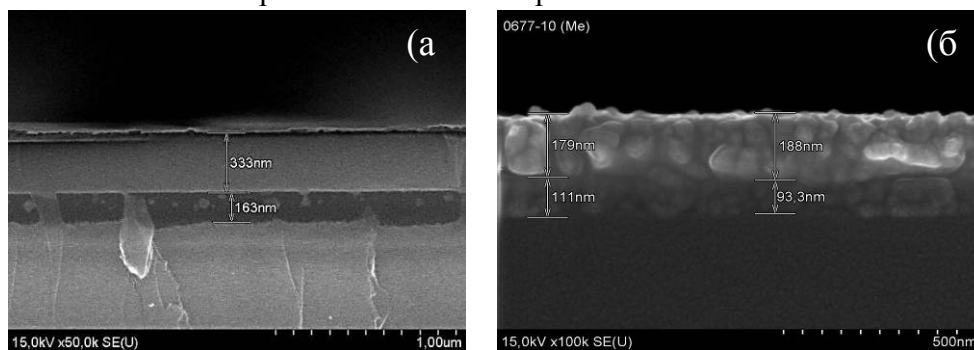


Рисунок 2 – РЭМ – скол SBT-покрытий: а – на оксидном подслое кремния; б – на платиновом подслое

На РЭМ – сколе SBT-покрытия, отожженного при температуре 750 °С в

течение 2 часов (рисунок 2), отчетливо видно хаотическое распределение частиц. Частицы имеют средний размер 50-180 нм. Из рисунка 2а видно, что толщина полученного SBT-покрытия на оксидном подслое кремния составляет около 330 нм при толщине оксидного подслоя в 160 нм, на платине составляет около 180 нм при толщине оксидного подслоя в 95 нм.

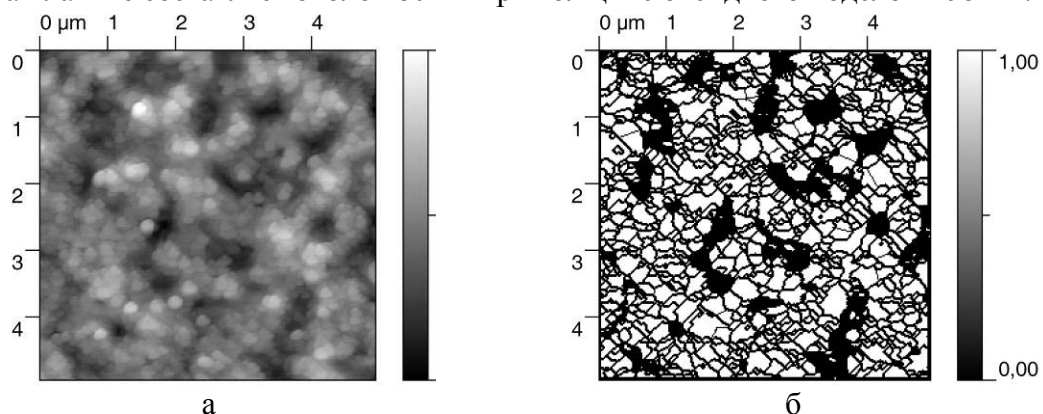


Рисунок 3 – АСМ-изображение (а) SBT – покрытия на платиновом подслое; б – изображение маркировки зёрен на поверхности (тёмные островки)

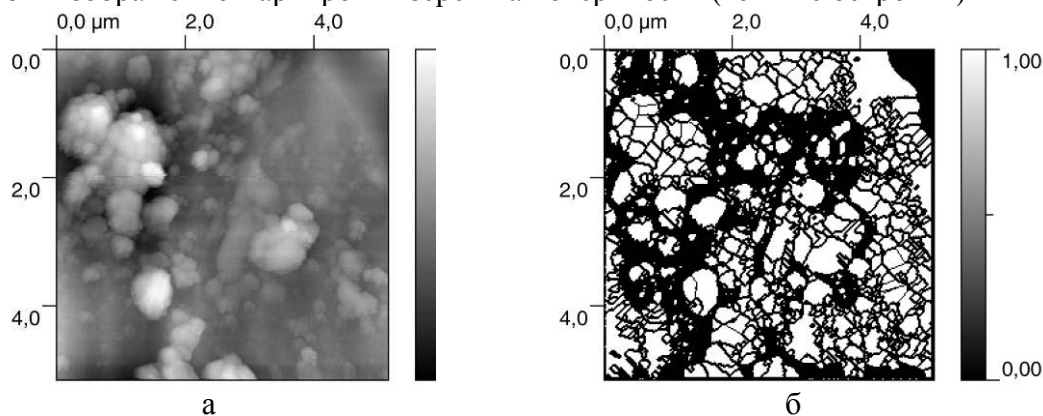


Рисунок 4 – АСМ-изображение (а) SBT – покрытия на кремнии; б – изображение маркировки зёрен на поверхности (тёмные островки)

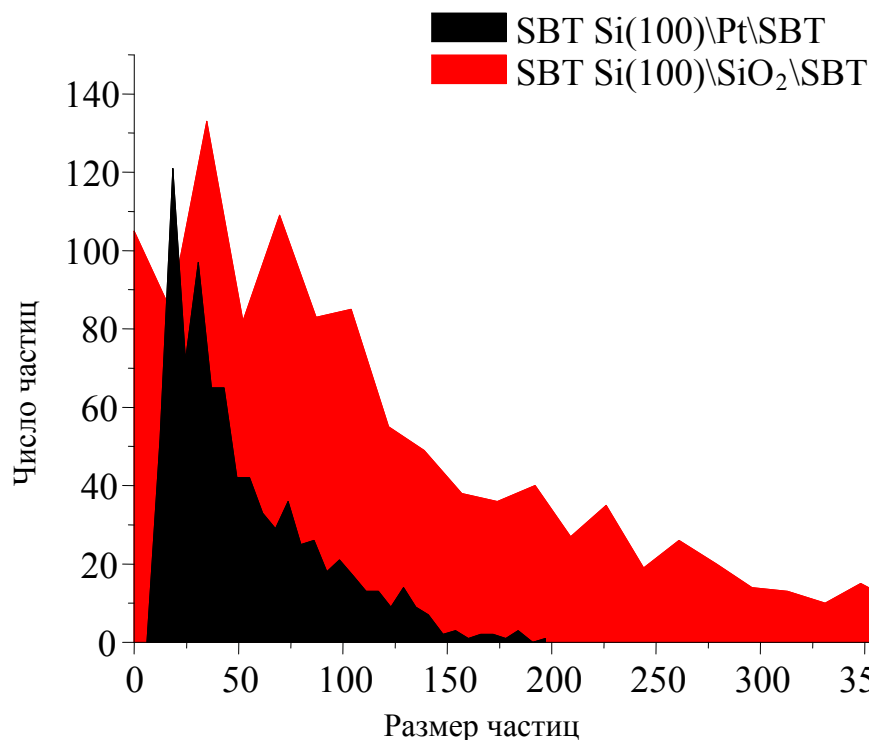


Рисунок 5 – Распределение частиц по размерам на поверхности SBT – покрытия на платиновом подслое и на кремнии.

Из статистических данных распределения частиц для SBT – покрытий на поверхности платины и кремния видно, что влияние подложки является определяющим фактором. Для SBT – покрытия, нанесенного на кремниевую подложку с платиновым подслоем, количество частиц на участке площадью 5×5 мкм составляет около 850, причем разброс по размерам частиц значительно меньше по сравнению с SBT – покрытием на монокристаллическом кремнии (рисунок 5). Размер частиц уменьшается при условии нанесения SBT – покрытия на платиновый подслей. В этом случае средний размер частиц составляет 100 нм, тогда как SBT- покрытие на монокристаллическом кремнии характеризуется средним размером частиц 140 нм, при этом количество частиц на участке площадью 5×5 мкм уменьшается до 300.

Итак, золь-гель метод пригоден для синтеза SBT – покрытий для последующего применения в устройствах энергонезависимой памяти. Степень кристалличности SBT-покрытия возрастает с ростом температуры отжига, а также зависит от типа подложки, о чем свидетельствует характер рентгенограмм соответствующих покрытий.

Литература

1. F.D. Morrison, Y. Luo, I. Szafraniak ed. al. Ferroelectric nanotubes Rev. Adv. Mater. Sci. – 2003. – №4 – P. 114 – 122
2. Анализ и распознавание графической информации в наноскопии / О. Сеницына, А. Филонов, И. Яминский // Наноиндустрия. – 2009. – № 3. – С. 14 – 20.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

ОАО «Интеграл», Беларусь,

ГНУ «Институт порошковой металлургии НАНБ»

Поступило 18.01.11

УДК 530.1;539.12

Квантовая механика в импульсном пространстве: вычисление матричных элементов с логарифмической сингулярностью

В. В. АНДРЕЕВ

В работе получена новая квадратурная формула для расчета интегралов с логарифмической сингулярностью в импульсном пространстве, определяющих энергетические поправки водородоподобных систем. При этом современная экспериментальная точность $\delta \sim 10^{-14}$ достигается при относительно небольшом количестве узлов N , что позволяет рассчитать релятивистские и квантовоэлектродинамические эффекты в водородоподобных системах.

Ключевые слова: квантовая механика, квадратурная формула, логарифмическая сингулярность, водородоподобная система.

The article gives a new quadrature formula for calculation of integrals with logarithmic singularity in the momentum space, defining the power amendments to hydrogen-like systems. Thus modern experimental accuracy $\delta \sim 10^{-14}$ is reached at rather a small amount of N knots, that allows to calculate relativistic and quantum electrodynamic effects in hydrogen-like systems.

Keywords: quantum mechanics, quadrature formula, logarithmic singularity, hydrogen-like system.

Введение

Обычно характеристики нерелятивистских связанных систем получают в результате решения уравнения Шредингера в координатном пространстве. Точные решения известны только для ограниченного числа потенциалов и поэтому основным методом получения собственных значений систем является численное решение дифференциального уравнения. Такое решение обычно не содержит серьезных технических проблем. Импульсное представление в нерелятивистском случае, как правило, не используется.

Однако ситуация меняется для релятивистских систем. Здесь обычная техника решения наталкивается на ряд трудностей. Первая из них состоит в получении релятивистского оператора энергии $T(k) = \sqrt{k^2 + m_1^2} + \sqrt{k^2 + m_2^2}$ в координатном представлении. Следующая проблема состоит в получении потенциала взаимодействия. Этот потенциал, как правило, связан с вычислением амплитуды упругого рассеяния частиц, составляющих систему [1]. Такая амплитуда рассчитывается в импульсном представлении, которое здесь возникает естественным образом.

Обычно схема получения потенциала выглядит следующим образом. Вычисления амплитуды делают приближенно, применяя разложение по скоростям частиц системы. После расчета спинорных структур выражение представляют в виде комбинации операторов орбитального момента и спинов частиц, таких как: операторы спин-спинового взаимодействия, спин-орбитального взаимодействия, тензорного взаимодействия. Затем вычисляют потенциал в координатном пространстве как фурье-образ вышеупомянутой амплитуды рассеяния (см., например, [2]).

Однако получение фурье-образов для некоторых слагаемых потенциала требует дополнительных допущений в связи с появлением расхождений при вычислениях интегралов. Все эти технические трудности влияют на точность расчетов характеристик связанных систем.

Поэтому в релятивистском случае “естественным” представлением является импульсное представление. Эта идея конечно не нова. В настоящее время имеется большое количество работ по исследованию энергетических спектров связанных систем в импульсном пространстве [3–8]. Однако не смотря на естественность использования импульсного пространства, в этом подходе также имеется ряд технических проблем. Многие потенциалы, важные с точки зрения физических приложений (кулоновский, линейно запирающий потенциалы), имеют сингулярности в импульсном пространстве, и поэтому получение решений с высокой точностью наталкивается на ряд трудностей.

Данная проблема носит не только академический характер. В настоящее время интервал $(1s - 2s)$ в атоме водорода измерен с очень высокой точностью $\sim 10^{-2}$ кГц [9] и относительная ошибка измерения составляет $\delta \sim 10^{-14}$. В этой связи актуальной задачей является совершенствование методов вычислений и создание методик, позволяющих рассчитывать с высокой точностью как релятивистские, так и квантовоэлектродинамические эффекты.

В работе рассмотрим новую методику вычисления интегралов с логарифмическими сингулярностями, которые возникают при расчетах энергетического спектра водородоподобных систем в импульсном представлении.

1 Уравнение движения двухчастичной системы в импульсном пространстве

Для того, чтобы понять, как возникает логарифмическая сингулярность рассмотрим уравнение Шредингера с кулоновским потенциалом. Записывая уравнение Шредингера для системы двух частиц с массами m_1 и m_2 и центрально симметричным потенциалом взаимодействия $V(r)$ ($r = |\mathbf{r}|$)

$$\left[\frac{\mathbf{p}^2}{2\mu} + V(r) \right] \Psi(\mathbf{r}) = E \Psi(\mathbf{r}) \quad (1)$$

в импульсном пространстве, после разделения угловых переменных, приходим к радиальному уравнению:

$$\left(E - \frac{p^2}{2\mu} \right) \tilde{\psi}_{n\ell}(p) = \int_0^\infty V_\ell(k, p) \tilde{\psi}_{n\ell}(k) k^2 dk. \quad (2)$$

Здесь $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ – приведенная масса; E – энергия связи; $\tilde{\psi}_{n\ell}(k)$ – радиальная часть фурье-образа функции в координатном пространстве $\Psi_{n\ell}(\mathbf{r})$.

Оператор $V_\ell(k, p)$ определяет ℓ -тую составляющую парциального разложения потенциала $V(r)$:

$$V_\ell(p, k) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty j_\ell(p r) V(r) j_\ell(k r) r^2 dr, \quad (3)$$

где $j_\ell(x)$ – сферические функции Бесселя.

Релятивистское обобщение уравнения (2), известное как беспиновое уравнение Солпитера, записывается в импульсном пространстве в виде:

$$\left(E - \sqrt{p^2 + m_1^2} - \sqrt{p^2 + m_2^2} \right) \tilde{\psi}_{n\ell}(p) = \int_0^\infty V_\ell(k, p) \tilde{\psi}_{n\ell}(k) k^2 dk. \quad (4)$$

Для степенных потенциалов $V(r) = \alpha r^{2s-3}$, используя, что [10]

$$\frac{2}{\pi} \int_0^\infty j_\ell(p r) r^{2s+1} j_\ell(k r) dr = \frac{(2s)!}{2^s s! \pi (k p)^{s+1}} Q_\ell^{(s)}(y), \quad (5)$$

можно найти аналитическое выражение (3) в виде:

$$V_\ell(p, k) = \frac{\alpha(2s)!}{2^s s! \pi (kp)^{s+1}} Q_\ell^{(s)}(y), \quad (6)$$

где

$$y = \frac{k^2 + p^2}{2kp}, \quad (7)$$

а $Q_\ell^{(s)}(y)$ означает s -тую производную полиномов Лежандра второго рода $Q_\ell(y)$ по аргументу y .

Полагая $s = 0$ в (5), получим ядро интегрального уравнения (2) для кулоновского потенциала

$$V_\ell^{(C)}(k, p) = -\alpha \frac{Q_\ell(y)}{\pi kp}. \quad (8)$$

В итоге уравнение (2) запишется в виде [11]

$$\left(\frac{p^2}{2\mu} - E_n\right) \tilde{\psi}_{n\ell}^C(p) = \frac{\alpha}{\pi p} \int_0^\infty Q_\ell(y) \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k) k dk. \quad (9)$$

Используя соотношение для полиномов Лежандра второго рода (см., например, [10])

$$Q_\ell(y) = P_\ell(y) Q_0(y) - w_{\ell-1}(y), \quad (10)$$

$$Q_0(y) = \frac{1}{2} \ln |(1+y)/(1-y)| = \ln \left| \frac{k+p}{k-p} \right|, \quad (11)$$

$$w_{\ell-1}(y) = \sum_{m=1}^{\ell} \frac{1}{m} P_{\ell-m}(y) P_{m-1}(y) \quad (12)$$

с полиномами Лежандра 1-го рода $P_\ell(y)$, легко заметить, что при $k = p$ ($y = 1$) ядро радиального уравнения (9) имеет логарифмическую сингулярность, связанную с функцией $Q_0(y)$.

Решением уравнения (9) является волновая функция (ВФ) [11]:

$$\tilde{\psi}_{n\ell}^C(p) = \tilde{N}_{n\ell} \frac{i^\ell (4np/\beta)^\ell}{[(np/\beta)^2 + 1]^{\ell+2}} \mathcal{G}_{n-\ell-1}^{\ell+1} \left(\frac{(np/\beta)^2 - 1}{(np/\beta)^2 + 1} \right), \quad (13)$$

где

$$\tilde{N}_{n\ell} = 4\sqrt{2} \frac{n^2 \ell!}{\beta^{3/2}} \sqrt{\frac{(n-\ell-1)!}{\pi(n+\ell)!}}, \quad (14)$$

а $\mathcal{G}_n^\ell(x)$ — полиномы Гегенбауэра.

Для нерелятивистского атома водорода параметр $\beta = \mu\alpha$, при этом энергетический спектр задается соотношением

$$E_n = -\frac{\mu\alpha^2}{2n^2} = -\frac{\beta^2}{2\mu n^2}. \quad (15)$$

При нахождении энергетических характеристик релятивистской водородоподобной системы (см.(4)) вариационным методом возникает выражение вида¹:

$$\begin{aligned} E_{n\ell} = & \int_0^\infty \left| \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k) \right|^2 \left[\sqrt{k^2 + m_1^2} + \sqrt{k^2 + m_2^2} \right] k^2 dk + \\ & + \sum_{\ell'} \int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{\psi}_{n\ell}^{*C}(k) V_{\ell;\ell'}^J(k, p) \tilde{\psi}_{n\ell'}^C(p) p^2 k^2 dp dk. \end{aligned} \quad (16)$$

¹Детальное изложение методов расчетов, основанных на вариационном методе, можно найти, в частности, в книге [12]

Если потенциал содержит полином Лежандра 2-го рода $Q_\ell(y)$, то соответственно интеграл в (16) будет содержать логарифмическую сингулярность. По этой причине для точного расчета энергетического спектра с помощью (16) необходимы специальные методы вычислений.

2 Методы численного расчета интегралов с логарифмической сингулярностью

Таким образом, при использовании вариационного метода для кулоновских пробных ВФ возникает задача вычисления двойных интегралов с полиномом $Q_\ell(y)$:

$$\mathcal{I}_{n\ell} \equiv \int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{\psi}_{n\ell}^{*C}(p) W(p, k) Q_\ell(y) \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k) k p dp dk, \quad (17)$$

где $W(p, k)$ — некоторая функция, которая не содержит сингулярностей (в частности, при $p = k$).

Основной метод численного расчета интегралов — это использование квадратурных формул. На первом этапе осуществляется переход от интервала интегрирования $[0, \infty[$ к “стандартному” $[-1, 1]$ с помощью замены переменных

$$\int_0^\infty f(k) dk = \int_{-1}^1 f(k(t)) \frac{dk}{dt} dt. \quad (18)$$

Функция $t(k)$ удовлетворяет граничным условиям

$$t(k=0) = -1, \quad t(k=\infty) = 1 \quad (19)$$

и может быть выбрана в виде: [8, 13–16]:

$$t(k) = \frac{k - c}{k + c}, \quad (20)$$

или

$$t(k) = 1 - 2 \exp(-k/c), \quad t(k) = \frac{4 \operatorname{arctg}(k/c)}{\pi} - 1, \quad (21)$$

где c — некоторый параметр, имеющий размерность величины k .

Стандартный подход, основанный на квадратурных формулах, приводит к аппроксимации интеграла (18)

$$\int_0^\infty f(k) dk \approx \sum_{j=1}^N \tilde{\omega}_j f(k_j), \quad (22)$$

где множители $\tilde{\omega}_j$ связаны с табличными весовыми множителями ω_j для области $[-1, 1]$ соотношением: $\tilde{\omega}_j = (dk/dt)_j \omega_j$, а N задает число узлов (число точек интегрирования).

Использование стандартного подхода на основе (22) для интеграла (17) дает, что

$$\mathcal{I}_{n\ell} \approx \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \phi_{n\ell}^{*C}(i) W_{ij} Q_\ell(y_{ij}) \phi_{n\ell}^C(j), \quad (W_{ij} = W(p_i, k_j)), \quad (23)$$

где

$$\phi_{n\ell}^{*C}(i) = \tilde{\psi}_{n\ell}^{*C}(p_i) \tilde{\omega}_i p_i, \quad \phi_{n\ell}^C(j) = \tilde{\omega}_j k_j \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k_j). \quad (24)$$

Таким образом, для получения численного значения интеграла $\mathcal{I}_{n\ell}$ необходимо найти элементы матрицы $K_{ij} = W_{ij} Q_\ell(y_{ij})$. И если для $i \neq j$ эта задача не является сложной, то при $i = j$ ($k = p$), вследствие логарифмической сингулярности в $Q_\ell(y_{ij})$, напрямую это сделать не удастся.

2.1 Метод контрчлена

Наиболее часто используемый метод удаления сингулярности из интегралов с $Q_\ell(y)$ — это введение контрчлена (метод вычитания Ланде) [8, 13]. Это делается посредством интегрального равенства для $Q_0(y)$ [10]:

$$\int_0^\infty \frac{dk}{k} Q_0(y) = \frac{\pi^2}{2}. \quad (25)$$

Соответствующий для сингулярной части интеграла (17) контрчлен находится умножением (25) на $|\tilde{\psi}_{n\ell}^C(p)|^2 p^3 W(p, p)$ и последующим интегрированием по переменной p . Используя уравнение (10) и контрчлен (25), приходим к соотношению для (17):

$$\begin{aligned} \mathcal{I}_{n\ell} = & \int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{\psi}_{n\ell}^{*C}(p) Q_0(y) \left[P_\ell(y) k^2 W(p, k) \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k) - p^2 W(p, p) \tilde{\psi}_{n\ell}^C(p) \right] \frac{p}{k} dp dk - \\ & - \int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{\psi}_{n\ell}^{*C}(p) W(p, k) w_{\ell-1}(y) \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k) k p dp dk + \frac{\pi^2}{2} \int_0^\infty |\tilde{\psi}_{n\ell}^C(p)|^2 p^3 W(p, p) dp. \end{aligned} \quad (26)$$

В итоге квадратурная формула принимает вид:

$$\begin{aligned} \mathcal{I}_{n\ell} \approx & C_{n\ell} + \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \phi_{n\ell}^{*C}(i) \left[Q_0(y_{ij}) \left(P_\ell(y_{ij}) W_{ij} - \frac{p_i^2 \tilde{\psi}_{n\ell}^C(p_i)}{k_j^2 \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k_j)} W_{ii} \right) - \right. \\ & \left. - W_{ij} w_{\ell-1}(y_{ij}) \right] \phi_{n\ell}^C(j), \end{aligned} \quad (27)$$

где использовано обозначение

$$C_{n\ell} = \frac{\pi^2}{2} \int_0^\infty |\tilde{\psi}_{n\ell}^C(p)|^2 p^3 W(p, p) dp \approx \frac{\pi^2}{2} \sum_{i=1}^N |\phi_{n\ell}^C(i)|^2 p_i \frac{W_{ii}}{\tilde{\omega}_i}. \quad (28)$$

Выражение (27) свободно от сингулярностей, поскольку при $i = j$ матрица при $Q_0(y)$ обращается в ноль вследствие того, что $P_\ell(y = 1) = 1$.

2.2 Полуспектральный метод Чебышева для интегралов с логарифмической сингулярностью

После перехода от интервала интегрирования $[0, \infty[$ к “стандартному” $[-1, 1]$ и использования явного вида полиномов Лежандра 2-го рода (10), (11) в соотношении (17) возникают интегралы вида:

$$\int_{-1}^1 g(t) \ln |t - z| dt, \quad \text{где } |z| \leq 1. \quad (29)$$

Для интегралов вида (29) в работе [17] (см. также [18]) предложена квадратурная формула, в которой параметр, определяющий значение сингулярности, входит в весовые коэффициенты:

$$\int_{-1}^1 g(t) \ln |t - z| dt \approx \sum_{j=1}^N \Omega_j(z) g(t_j), \quad (30)$$

где

$$\Omega_j(z) = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N{}' T_{k-1}(t_j) J_{k-1}(z), \quad (31)$$

$$J_{k-1}(z) = \int_{-1}^1 T_{k-1}(t) \ln|t-z| dt. \quad (32)$$

Здесь $T_{k-1}(t)$ — полиномы Чебышева 1-го рода; t_j — нули полиномов Чебышева степени N . Штрих возле знака суммы означает, что первое слагаемое следует делить на 2. Интеграл (32) в работе [17] вычислен аналитически, что позволяет получить численные значения весовых коэффициентов $\Omega_j(z)$.

Используя квадратурную формулу (30) для двойного интеграла (17), приходим к выражению:

$$\mathcal{I}_{nl} \approx \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \phi_{nl}^{*C}(i) W_{ij} \left[P_\ell(y_{ij}) \left\{ \ln|1-t_i t_j| - \frac{\Omega_i(t_j)}{\tilde{\omega}_i} \right\} - w_{\ell-1}(y_{ij}) \right] \phi_{nl}^C(j). \quad (33)$$

В соотношении (33) недостатком является то, что нарушена симметрия по отношению к замене $i \leftrightarrow j$.

2.3 Новая квадратурная формула

Для получения новой квадратурной формулы, где также сингулярность отсутствует, используем следующее построение.

Нерелятивистское уравнение Шредингера в импульсном пространстве (9), используя соотношение (15) и $\beta = \mu\alpha$, перепишем в виде

$$\frac{\pi}{2\beta} \left(\frac{\beta^2}{n^2} + p^2 \right) \tilde{\psi}_{nl}^C(p) = \frac{1}{p} \int_0^\infty Q_\ell(y) \tilde{\psi}_{nl}^C(k) k dk. \quad (34)$$

Далее, посредством умножения обеих частей уравнения (34) на $p^2 W(p, p) \tilde{\psi}_{nl}^{*C}(p)$ и последующего интегрирования по p , приходим к равенству:

$$\begin{aligned} & \int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{\psi}_{nl}^{*C}(p) W(p, p) Q_\ell(y) \tilde{\psi}_{nl}^C(k) k p dp dk = \\ & = \frac{\pi}{2\beta} \int_0^\infty \left| \tilde{\psi}_{nl}^C(p) \right|^2 W(p, p) p^2 \left[\frac{\beta^2}{n^2} + p^2 \right] dp \equiv g_{nl}. \end{aligned} \quad (35)$$

Правая часть (35) не содержит сингулярностей и, следовательно, может быть рассчитана достаточно точно посредством квадратурных формул (при этом левая часть, при $p = k$, содержит сингулярность).

Равенство (35), которое по сути определяет новый контрчлен, позволяет представить интеграл (17) в виде:

$$\mathcal{I}_{nl} \equiv g_{nl} + \int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{\psi}_{nl}^{*C}(p) [W(p, k) - W(p, p)] Q_\ell(y) \tilde{\psi}_{nl}^C(k) k p dp dk. \quad (36)$$

Соотношение (36) определяет для двойного интеграла (17) новую квадратурную формулу:

$$\mathcal{I}_{nl} \approx g_{nl} + \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \phi_{nl}^{*C}(i) [(W_{ij} - W_{ii}) Q_\ell(y_{ij})] \phi_{nl}^C(j), \quad (37)$$

которая свободна от сингулярностей, поскольку матрица $[(W_{ij} - W_{ii}) Q_\ell(y_{ij})]$ при $i = j$ обращается в ноль (при определенных требованиях на функцию $W(p, p)$).

При этом отметим, что квадратурная формула (37) сохранила симметрию относительно замены $p \leftrightarrow k$, которая имеет место для интеграла (17). Данное обстоятельство существенно упрощает расчеты (см. об этом, например, [8, 15]). Отметим также, что нет необходимости выделять сингулярную часть интеграла (17) посредством соотношения (10), как это делается для метода с использованием контрчлена. Безусловно, что квадратурная формула (37) пригодна только для кулоновских ВФ, в то время как, и метод контрчлена, и полуспектральный метод Чебышева может быть использован для произвольных ВФ.

3 Сравнительные тесты для методов расчета

Для тестирования точности квадратурных формул используем аналитическое выражение для интеграла (17) с различными $W(p, k) = \{1, (p^2 + k^2)\}$:

$$\int_0^\infty \int_0^\infty dk dp \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k, \beta) \tilde{\psi}_{n\ell}^C(p, \beta) Q_\ell(y) k p = \frac{\pi\beta}{n^2}, \quad (38)$$

$$\int_0^\infty \int_0^\infty dk dp \tilde{\psi}_{n\ell}^{*C}(p) \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k) k p (p^2 + k^2) Q_\ell(y) = 2\pi \frac{\beta^3}{n^3} \left(\frac{4}{2\ell + 1} - \frac{1}{n} \right), \quad (39)$$

которые несложно получить из (35), если учесть, что

$$\int_0^\infty dk \left| \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k) \right|^2 k^4 = \frac{\beta^2}{n^2}, \quad (40)$$

$$\int_0^\infty dk \left| \tilde{\psi}_{n\ell}^C(k) \right|^2 k^6 = \frac{\beta^4}{n^4} \left(\frac{8n - 3(2\ell + 1)}{2\ell + 1} \right). \quad (41)$$

В таблицах 1, 2 представлены относительные ошибки при расчете интегралов (38), (39) для различных квантовых чисел n, ℓ и количества узлов N для квадратурной формулы (37) и традиционной формулы с вычитанием (27) и метода, предложенного в [17].

Таблица 1: Относительная ошибка квадратурной формулы (37), вычисленная для интеграла (38). В круглых и фигурных скобках представлены аналогичные ошибки для традиционного метода с вычитанием (квадратурная формула (27)) и для полуспектрального метода Чебышева для интегралов с логарифмической сингулярностью (квадратурная формула (33)) соответственно.

$\ell = 0$			$\ell = 1$	
N	$n = 1$	$n = 2$	$n = 2$	$n = 3$
50	$4,5 \times 10^{-20}$	$6,5 \times 10^{-16}$	$2,2 \times 10^{-16}$	$2,2 \times 10^{-12}$
70	$1,0 \times 10^{-27}$	$1,2 \times 10^{-22}$	$4,4 \times 10^{-23}$	$2,4 \times 10^{-18}$
100	$3,3 \times 10^{-39}$	$4,4 \times 10^{-33}$	$1,5 \times 10^{-33}$	$1,2 \times 10^{-26}$
100	$(2,3 \times 10^{-6})$	$(3,5 \times 10^{-5})$	$(2,9 \times 10^{-6})$	$(6,5 \times 10^{-6})$
100	$\{1,3 \times 10^{-15}\}$	$\{1,5 \times 10^{-5}\}$	$\{6,4 \times 10^{-19}\}$	$\{6,6 \times 10^{-17}\}$

Таблица 2: То же самое, что и в таблице 1, только для интеграла (39).

$\ell = 0$			$\ell = 1$	
N	$n = 1$	$n = 2$	$n = 2$	$n = 3$
50	$1,5 \times 10^{-20}$	$8,7 \times 10^{-19}$	$1,2 \times 10^{-16}$	$5,6 \times 10^{-13}$
70	$3,3 \times 10^{-28}$	$1,8 \times 10^{-23}$	$2,6 \times 10^{-23}$	$2,2 \times 10^{-19}$
100	$1,1 \times 10^{-39}$	$4,6 \times 10^{-34}$	$1,0 \times 10^{-25}$	$1,0 \times 10^{-25}$
100	$(7,6 \times 10^{-7})$	$(5,9 \times 10^{-7})$	$(2,8 \times 10^{-6})$	$(6,5 \times 10^{-6})$
100	$\{3,5 \times 10^{-5}\}$	$\{5,0 \times 10^{-6}\}$	$\{1,7 \times 10^{-4}\}$	$\{3,9 \times 10^{-4}\}$

Результаты расчетов показывают, что квадратурная формула (37) имеет существенное преимущество перед соотношениями (27) и (33), что позволяет рассчитывать энергетические поправки водородоподобных систем при использовании кулоновских пробных ВФ (13) с точностью необходимой для современных экспериментов.

Заключение

В работе получена новая квадратурная формула для расчета интегралов с логарифмической сингулярностью в импульсном пространстве, определяющих энергетические поправки водородоподобных систем. При этом современная экспериментальная точность $\delta \sim 10^{-14}$ достигается при относительно небольшом количестве узлов N , что позволяет рассчитать релятивистские и квантовоэлектродинамические эффекты в водородоподобных системах.

Литература

1. Lucha, W. Relativistic treatment of fermion anti-fermion bound states / W. Lucha, H. Rupprecht, F. F. Schoberl // Phys. Rev. — 1991. — Vol.D44. — P. 242–249.
2. Пилькун, Х. Физика релятивистских частиц / Х. Пилькун. — Москва: Мир, 1983. — 542 с.
3. Браун, Д. Е. Нуклон-нуклонные взаимодействия / Д. Е. Браун, А. Д. Джексон. — Москва: Атомиздат, 1979. — 248 с.
4. Eyre, D. Solving momentum space integral equations for quarkonia spectra with confining potentials / D. Eyre, J. P. Vary // Phys. Rev. — 1986. — Vol. D34. — P. 3467–3471.
5. Skachkov, N. B. Covariant three-dimensional equation for fermion anti-fermion system. 2. Transformation of interaction amplitudes to a local form in the Lobachevsky momentum space / N. B. Skachkov. — 1981. — JINR-E2-81-308.
6. Hersbach, H. Relativistic meson spectroscopy in momentum space / H. Hersbach // Phys. Rev. — 1994. — Vol. C50. — P. 2562–2575.
7. Jean, H. C. Relativistic quark - anti-quark bound state problem with spin dependent interactions in momentum space / H. C. Jean, D. Robson, A. G. Williams // Phys. Rev. — 1994. — Vol. D50. — P. 5873–5877.
8. Tang, A. The Nyström plus correction method for solving bound state equations in momentum space / A. Tang, J. W. Norbury // Phys. Rev. — 2001. — Vol. E63. — P. 066703.
9. Phase-Coherent Measurement of the Hydrogen $1S - 2S$ Transition Frequency with an Optical Frequency Interval Divider Chain / T. Udem, A. Huber, B. Gross [et al.] // Phys. Rev. Lett. — Oct 1997. — Vol. 79, N 14. — P. 2646–2649.
10. Градштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. — 4-е переработанное изд. — Москва: Гос.изд-во физ.-мат. литературы, 1963. — 1110 с.

11. Бете, Г. Квантовая механика атомов с одним и двумя электронами / Г. Бете, Э. Солпитер. — Москва: Госуд. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1960. — 562 с.
12. Маханек, А. Г. Аналитические методы в квантовомеханической теории возмущений / А. Г. Маханек, В. Корольков. — Минск: Наука и техника, 1982. — 382 с.
13. Bielefeld, S. On technically solving an effective QCD Hamiltonian [Electronic resource] / S. Bielefeld, J. Ihmels, H.-C. Pauli. — 1999. — Mode of access: <http://arxiv.org/pdf/hep-ph/9904241>. — Date of access: 14.01.2008.
14. Savkli, C. Quark-antiquark bound states in the relativistic spectator formalism / C. Savkli, F. Gross // Phys. Rev. — 2001. — Vol. C63. — P. 035208.
15. Man Iersel, M. Techniques for solving bound state problems [Electronic resource] / M. van Iersel, C. van der Burgh, B. L. Bakker. — 2000. — Mode of access: <http://arxiv.org/pdf/hep-ph/0010243>. — Date of access: 14.01.2008.
16. Deloff, A. Quarkonium bound-state problem in momentum space revisited / A. Deloff // Annals Phys. — 2007. — Vol. 322. — P. 2315–2326.
17. Deloff, A. Semi-spectral Chebyshev method in Quantum Mechanics / A. Deloff // Annals Phys. — 2007. — Vol. 322. — P. 1373–1419.
18. Deloff, A. Gauss-Legendre and Chebyshev quadratures for singular integrals / A. Deloff // Computer Physics Communications. — 2008. — Vol. 179, N 12. — P. 908 — 914.

Низкоэнергетические электромагнитные характеристики пиона в кварково-полево́й модели

Е. В. ВАКУЛИНА, О. М. ДЕРЮЖКОВА, Н. В. МАКСИМЕНКО

В кварково-полево́й модели определена амплитуда комптоновского рассеяния на пионе. Вычислены электрическая и магнитная поляризуемости заряженного пиона с учетом цвета кварков на уровне однопетлевого приближения. Показано, что σ -мезон играет важную роль в определении поляризуемостей пиона.

Ключевые слова: кварково-полево́я модель, пион, характеристика пиона, кварк.

The Compton amplitude of pion is determined in the quark field model. The electric and magnetic polarizabilities of charged pion are calculated in a colored quark field theory at the one-loop level. It is shown that the σ -meson is played an important role in the determination of the pion polarizabilities.

Keywords: quark field model, pion, characteristics of pion, quark.

Введение

В работах Ф. И. Федорова, Л. Г. Мороза, А. А. Богуша и их учеников активно развивались ковариантные методы получения лагранжианов и уравнений взаимодействия электромагнитного поля с адронами, в которых электромагнитные характеристики этих частиц являются основополагающими [1–5]. Используя эти методы, можно сформулировать ковариантный формализм взаимодействия электромагнитного поля с адронами с учетом их поляризуемостей. Более того, открывается возможность последовательного определения амплитуд и сечений электродинамических процессов, информацию о которых получают из экспериментов.

В работе [6] предложен метод определения амплитуд и сечений через поляризуемости ядер в рамках нерелятивистской квантовой механики. В развитие метода работы [6] на основе калибровочно-инвариантного подхода и решений электродинамических уравнений методом функции Грина [7–9], в ковариантной форме получена амплитуда комптоновского рассеяния на скалярной частице с учетом поляризуемостей [10]. Как следует из низкоэнергетической теоремы, при расчете вклада поляризуемостей необходимо учитывать релятивистские эффекты [11].

Одним из способов решения вопроса о физической интерпретации релятивистских эффектов и оценки электромагнитных характеристик пиона является релятивистское квантово-полево́е модельное представление комптоновского рассеяния на пионе с учетом его структуры. Естественным методом теоретического описания и оценки электромагнитных характеристик пиона является кварково-полево́я модель.

Данная работа посвящена теоретическому описанию низкоэнергетического комптоновского рассеяния и оценки поляризуемостей пиона в кварково-полево́й модели. Определение амплитуды комптоновского рассеяния на пионе в этой модели основывается на учете вклада петлевых диаграмм. Это обусловлено прежде всего тем, что вершинная константа $\pi q \bar{q}$ определена из распадов пионов, а также в настоящее время хорошо развит ковариантный формализм размерной регуляризации для расчета петлевых диаграмм [12].

1 Метод редукции интегралов от 4-х точечных петлевых амплитуд к 3-х и 2-х точечным амплитудам

В расчетах амплитуды комптоновского рассеяния на пионе и поляризуемостей учитывались диаграммы рис. 1, цвет кварков и считалось, что кварки являются валентными.

Сумма амплитуд диаграмм, приведенных на рис. 1, является калибровочно-инвариантной и удовлетворяет условию перекрестной симметрии [13]. Импульсы p_1 и p_2 – импульсы начального и конечного π -мезона соответственно, а импульсы k_1 и k_2 – импульсы начального и конечного фотонов. Сплошные линии соответствуют кваркам, волнистые – фотонам, а штриховые – пионам.

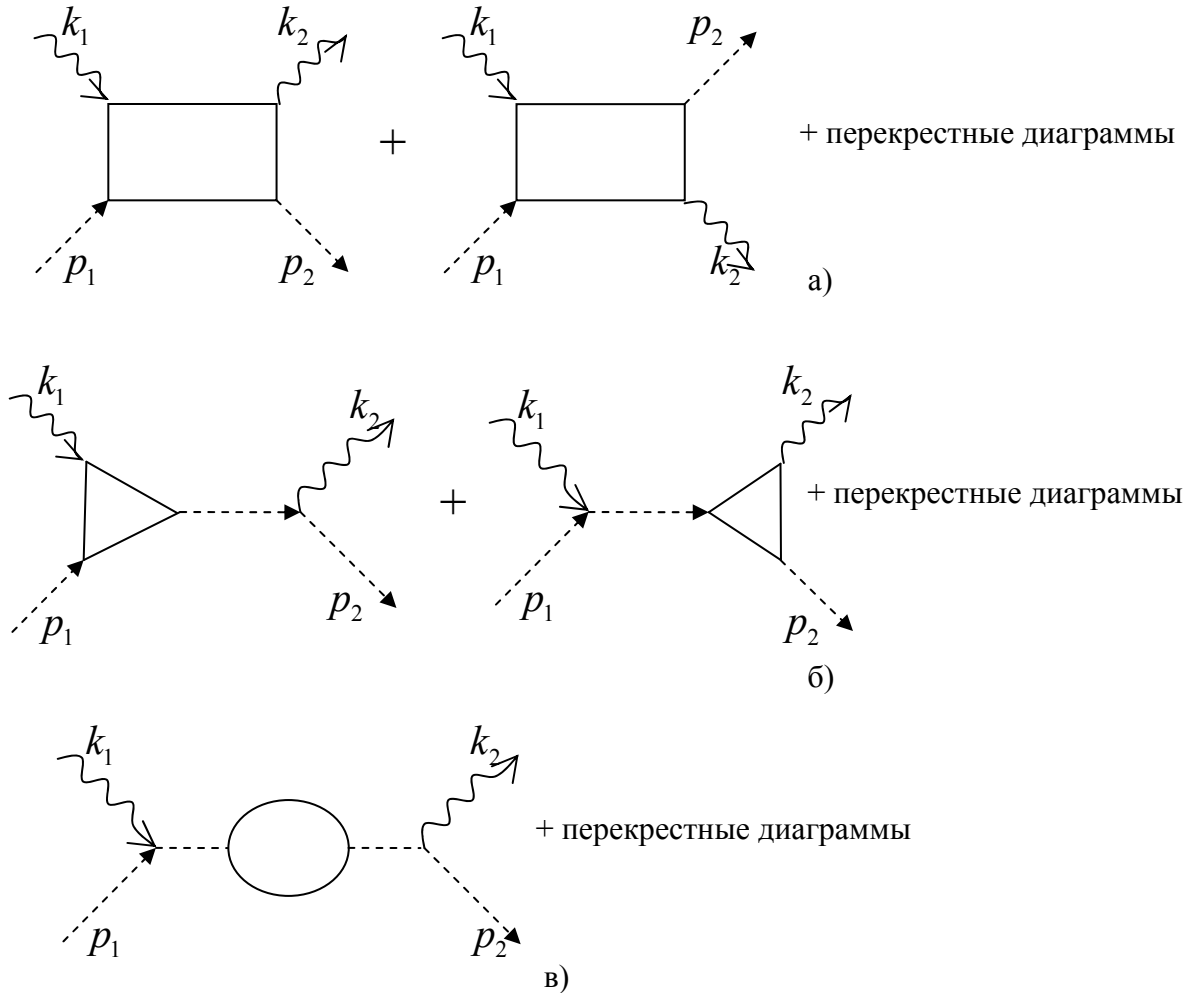


Рисунок 1 – Калибровочно-инвариантный набор диаграмм, с помощью которых моделировался процесс комптоновского рассеяния

Представим S -матричный элемент комптоновского рассеяния, определяемого суммой диаграмм рис. 1, следующим образом:

$$S_{fi} = \frac{\delta(k_1 + p_1 - k_2 - p_2)}{(2\pi)^2 \sqrt{16\omega_1\omega_2 E_1 E_2}} \sum_{n=1}^9 J^{(n)}.$$

В этом выражении слагаемыми суммы являются амплитуды девяти диаграмм, которые определены по правилам Фейнмана и представлены интегралами вида:

$$J^{(n)} = (e_i e_j) \lambda^2 \int \frac{d^4 q}{(2\pi)^4} \frac{Sp^{(n)}}{\alpha_1^{(n)} \alpha_2^{(n)} \alpha_3^{(n)} \alpha_4^{(n)}}, \quad (1)$$

где « n » пробегает значения от 1 до 9, λ – определяется вершиной $\pi q \bar{q}$, e_i – заряды кварков, антикварков и π -мезонов в вершине взаимодействия фотонов с этими частицами.

На примере интеграла $J^{(1)}$ опишем методику вычисления $J^{(n)}$. Из правил Фейнмана следует, что в интеграле $J^{(1)}$ числитель определяется выражением

$$Sp^{(1)} = Sp\left[\hat{e}_2(\hat{q} + \hat{f} + m)\hat{e}_1(\hat{q} + \hat{p}_1 + m)\gamma_5(\hat{q} + m)\gamma_5(\hat{q} + \hat{p}_2 + m)\right],$$

где $\hat{e}_2 = e_{\mu}^{(\lambda_2)^+} \gamma^{\mu}$, $\hat{e}_1 = e_{\mu}^{(\lambda_1)} \gamma^{\mu}$, $f = k_1 + p_1$. Обозначения 4-х импульсов приведены на рис. 1. В свою очередь знаменатель подынтегрального выражения (1) имеет вид:

$$\prod_{i=1}^n \alpha_i^{(n)} = \alpha_1^{(n)} \alpha_2^{(n)} \alpha_3^{(n)} \alpha_4^{(n)} = \left[(q + f)^2 - m^2\right] \left[(q + p_1)^2 - m^2\right] (q^2 - m^2) \left[(q + p_2)^2 - m^2\right].$$

Расчеты в $J^{(n)}$ выполним путем выделения в $Sp^{(n)}$ величин $\alpha_i^{(n)}$. Тогда, сокращая $\alpha_i^{(n)}$ в числителе и знаменателе, перейдем от 4-х точечных амплитуд к 3-х и 2-х точечным амплитудам. Поскольку при вычислении физических низкоэнергетических характеристик используются регуляризованные амплитуды, то при вычислении интегралов $J^{(n)}$ воспользуемся смещением импульса, по которому реализуется интегрирование. Благодаря этому приходим к выводу, что $J^{(1)} = J^{(4)}$, $J^{(2)} = J^{(3)}$, $J^{(5)} = J^{(7)}$, $J^{(6)} = J^{(8)}$. Так, выполняя сдвиг импульса в интеграле $J^{(1)}$ на $\sigma = q + f$, получим:

$$Sp^{(1)} = Sp\left[\hat{e}_2(m + \hat{\sigma})\hat{e}_1(m + \hat{\sigma} - \hat{k}_1)\gamma_5(m + \hat{\sigma} - \hat{f})\gamma_5(m + \hat{\sigma} - \hat{k}_2)\right].$$

В свою очередь $\alpha_i^{(1)}$ принимают вид:

$$\alpha_1^{(1)} = (\sigma - f)^2 - m^2, \alpha_2^{(1)} = (\sigma - k_1)^2 - m^2, \alpha_3^{(1)} = (\sigma - k_2)^2 - m^2, \alpha_4^{(1)} = (\sigma^2 - m^2). \quad (2)$$

В этом случае $Sp^{(1)}$ можно представить так:

$$\begin{aligned} Sp^{(1)} = & Sp\left[\alpha_1^{(1)}\alpha_2^{(1)}\hat{e}_2\hat{e}_1 - \alpha_1^{(1)}\left[2(\sigma e_1)\hat{e}_2(m + \hat{\sigma} - \hat{k}_1) - \hat{e}_2\hat{e}_1\hat{k}_1(m + \hat{\sigma})\right] - \right. \\ & - \alpha_2^{(1)}\left[\hat{e}_2\hat{e}_1(m - \hat{\sigma} + \hat{f})\hat{p}_2 + 2(\sigma e_1)\hat{e}_2\hat{p}_2\right] + \alpha_4^{(1)}\hat{e}_2\hat{e}_1\hat{k}_1\hat{p}_2 + 2(\sigma e_1)\hat{e}_2(m + \hat{\sigma} - \hat{k}_1)\hat{p}_1\hat{p}_2 - \\ & \left. - \hat{e}_2\hat{e}_1\hat{k}_1(m + \hat{\sigma})\hat{f}\hat{p}_2\right] \end{aligned} \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим

$$J^{(1)} = \lambda^2 e_1^2 \left[J_{34}^{(1)} + J_{234}^{(1)} + J_{134}^{(1)} + J_{123}^{(1)} + J_0^{(1)} \right]. \quad (4)$$

Интегралы, которые содержатся в выражении (4), имеют вид:

$$\begin{aligned} J_{34}^{(1)} &= \int \frac{d^4\sigma}{(2\pi)^4} \frac{Sp(\hat{e}_2\hat{e}_1)}{\alpha_3^{(1)}\alpha_4^{(1)}}, \quad J_{234}^{(1)} = \int \frac{d^4\sigma}{(2\pi)^4} \frac{Sp\left[\hat{e}_2\hat{e}_1\hat{k}_1(m + \hat{\sigma}) - 2(\sigma e_1)\hat{e}_2(m + \hat{\sigma} - \hat{k}_1)\right]}{\alpha_2^{(1)}\alpha_3^{(1)}\alpha_4^{(1)}}, \\ J_{134}^{(1)} &= \int \frac{d^4\sigma}{(2\pi)^4} \frac{Sp\left[-(\hat{e}_2\hat{e}_1)(m - \hat{\sigma} + \hat{f})\hat{p}_2 - 2(\sigma e_1)\hat{e}_2\hat{p}_2\right]}{\alpha_1^{(1)}\alpha_3^{(1)}\alpha_4^{(1)}}, \\ J_{123}^{(1)} &= \int \frac{d^4\sigma}{(2\pi)^4} \frac{Sp\left[\hat{e}_2\hat{e}_1\hat{k}_1\hat{p}_2\right]}{\alpha_1^{(1)}\alpha_2^{(1)}\alpha_3^{(1)}}, \end{aligned}$$

$$J_0^{(1)} = \int \frac{d^4\sigma}{(2\pi)^4} \frac{Sp \left[2(\sigma e_1) \hat{e}_2 (m + \hat{\sigma} - \hat{k}_1) \hat{p}_1 \hat{p}_2 - \hat{e}_2 \hat{e}_1 \hat{k}_1 (m + \hat{\sigma}) \hat{f} \hat{p}_2 \right]}{\alpha_1^{(1)} \alpha_2^{(1)} \alpha_3^{(1)} \alpha_4^{(1)}}.$$

Для вычисления интегралов в выражении (4) воспользуемся методом размерной регуляризации. Этим методом, например, вычислим $J_0^{(1)}$:

$$J_0^{(1)} = \int \frac{d^4\sigma}{(2\pi)^4} \frac{Sp_0^{(1)}}{\alpha_1^{(1)} \alpha_2^{(1)} \alpha_3^{(1)} \alpha_4^{(1)}}, \quad (5)$$

где $Sp_0^{(1)} = Sp \left[2(\sigma e_1) \hat{e}_2 (\hat{\sigma} - \hat{k}_1) \hat{p}_1 \hat{p}_2 - \hat{e}_2 \hat{e}_1 \hat{k}_1 \hat{\sigma} \hat{f} \hat{p}_2 \right].$

Воспользуемся параметризацией Фейнмана. Тогда интеграл (5) можно привести к виду:

$$J_0^{(1)} = \hat{\Omega} \int \frac{d^4\sigma}{(2\pi)^4} \frac{Sp_0^{(1)}}{(\alpha_1^{(1)} x_1 + \alpha_2^{(1)} x_2 + \alpha_3^{(1)} x_3 + \alpha_4^{(1)} x_4)}, \quad (6)$$

где $\hat{\Omega} = 6 \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} dx_2 \int_0^{1-x_1-x_2} dx_3.$

Используя определение $\alpha_i^{(n)}$ и кинематику комптоновского рассеяния, знаменатель интеграла (6) представим следующим образом:

$$\alpha_1^{(1)} x_1 + \alpha_2^{(1)} x_2 + \alpha_3^{(1)} x_3 + \alpha_4^{(1)} x_4 = \sigma'^2 - \Delta_1. \quad (7)$$

В выражении (7) введены обозначения $\sigma' = \sigma - b_1$, $b_1 = f x_1 + k_1 x_2 + k_2 x_3$, а величина Δ_1 определяется так: $\Delta_1 = m^2 - f^2 x_1 x_4 - p^2 x_1 (x_2 + x_3) - t x_2 x_3$. При использовании параметров x_i необходимо учитывать соотношение $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1$. В результате интеграл (6) примет вид:

$$J_0^{(1)} = \hat{\Omega} \int \frac{d^4\sigma'}{(2\pi)^4} \frac{Sp_0^{(1)}(\sigma')}{(\sigma'^2 - \Delta_1)^4}. \quad (8)$$

Чтобы выполнить дальнейшие вычисления в (8) согласно методам размерной регуляризации, представим этот интеграл в D -мерном пространстве, используя соотношения [12]:

$$\int \frac{d^D\sigma'}{(2\pi)^D (\sigma'^2 - \Delta_1)^4} = \frac{i}{(4\pi)^{D/2}} \frac{\Gamma(4 - D/2)}{\Gamma(4)} \frac{1}{\Delta_1^{4-D/2}}, \quad (9)$$

$$\int \frac{d^D\sigma' \sigma'_\mu \sigma'_\nu}{(2\pi)^D (\sigma'^2 - \Delta_1)^4} = \frac{(-i)}{(4\pi)^{D/2}} \frac{\Gamma(3 - D/2)}{\Gamma(4)} \frac{g_{\mu\nu}}{2} \frac{1}{\Delta_1^{3-D/2}}. \quad (10)$$

В этих выражениях $\Gamma(n)$ – гамма функция. Используя (9) и (10), интеграл (8) можно представить следующим образом:

$$J_0^{(1)} = J_0^{(1)'} + J_0^{(1)''}.$$

В этом выражении

$$J_0^{(1)'} = \frac{i}{(4\pi)^2} \hat{\Omega}^{(1)} \frac{Sp_0^{(1)'}}{\Delta_1}, \quad (11)$$

$$J_0^{(1)''} = \frac{i}{(4\pi)^2} \hat{\Omega}^{(1)} \frac{Sp_0^{(1)''}}{\Delta_1^2}. \quad (12)$$

В интегралах (11) и (12) введены обозначения:

$$Sp_0^{(1)'} = Sp[-\hat{e}_2 \hat{e}_1 \hat{p}_1 \hat{p}_2],$$

$$Sp_0^{(1)''} = Sp\left[2(b_1 e_1) (\hat{e}_2 \hat{b}_1 \hat{p}_1 \hat{p}_2 - \hat{e}_2 \hat{k}_1 \hat{p}_1 \hat{p}_2) - \hat{e}_2 \hat{e}_1 \hat{k}_1 \hat{b}_1 \hat{f} \hat{p}_2\right].$$

Оператор $\hat{\Omega}^{(1)}$ связан с $\hat{\Omega}$ следующим образом: $\hat{\Omega} = 6\hat{\Omega}^{(1)}$, то есть $\hat{\Omega}^{(1)}$ – тройной интеграл по x_1 , x_2 и x_3 .

На основе представленного метода аналогичным образом вычисляются интегралы $J_{34}^{(1)}$, $J_{234}^{(1)}$, $J_{134}^{(1)}$ и $J_{123}^{(1)}$. Как свидетельствуют расчеты, структуры $J_{34}^{(1)}$ и $J_{234}^{(1)}$ содержат расходящиеся интегралы типа:

$$J_{234}^{(1)}(\infty) = \frac{i}{(4\pi)^{D/2}} \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} dx_2 \frac{(-4e_2 e_1)}{\Delta^{2-D/2}} \Gamma\left(2 - \frac{D}{2}\right), \quad (13)$$

$$J_{34}^{(1)}(\infty) = \frac{i}{(4\pi)^{D/2}} \int_0^1 dx_1 \frac{(4e_2 e_1)}{(m^2)^{2-D/2}} \Gamma\left(2 - \frac{D}{2}\right), \quad (14)$$

где $\Delta = m^2 - tx_1 x_2$.

Однако поскольку поляризуемости определяются при $t=0$, то, как видно из (13) и (14), эти расходящиеся величины взаимно уничтожаются.

2 Определение амплитуд треугольных диаграмм

Используя правила Фейнмана, амплитуды треугольных диаграмм рис. 1, б) можно представить в следующем виде:

$$J^{(5)} = (ee_1) \lambda^2 \frac{[e_2(f + p_2)]}{(f^2 - p^2)} \Lambda^{(5)}, \quad (15)$$

$$J^{(6)} = (ee_2) \lambda^2 \frac{[e_2(f + p_2)]}{(f^2 - p^2)} \Lambda^{(6)}, \quad (16)$$

$$J^{(7)} = (ee_1) \lambda^2 \frac{2(e_1 p_1)}{(f^2 - p^2)} \Lambda^{(7)}, \quad (17)$$

$$J^{(8)} = (ee_2) \lambda^2 \frac{2(e_1 p_1)}{(f^2 - p^2)} \Lambda^{(8)}. \quad (18)$$

В выражениях (15)-(18) $\Lambda^{(n)}$ (« n » пробегает значения 5, 6, 7, 8) представляются соотношением:

$$\Lambda^{(n)} = \int \frac{d^4 q}{(2\pi)^4} \frac{Sp^{(n)}}{\alpha_1^{(n)} \alpha_2^{(n)} \alpha_3^{(n)}}.$$

Выполняя вычисления по предыдущей методике, получим

$$\Lambda^{(n)} = \Lambda_1^{(n)} + \Lambda_2^{(n)}. \quad (19)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \Lambda_1^{(n)} &= \frac{i}{(4\pi)^2} \hat{\Omega} \frac{Sp_1^{(n)}}{\Delta_n}, \\ \Lambda_2^{(n)} &= \frac{i}{(4\pi)^{D/2}} \hat{\Omega} \Gamma\left(2 - \frac{D}{2}\right) \frac{Sp_2^{(n)}}{\Delta_n^{2-D/2}}, \end{aligned} \quad (20)$$

где интегральный оператор $\hat{\Omega}$ имеет вид:

$$\hat{\Omega} = \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} dx_2.$$

Следы определяются из диаграмм рис. 1, б) согласно правилам Фейнмана. Из анализа $\Lambda^{(n)}$, приведенных в (19), можно сделать следующие заключения:

1. интегралы $\Lambda^{(n)}$ расходящиеся, и потому необходимо их регуляризовать;
2. следы $Sp_1^{(n)}$ и $Sp_2^{(n)}$ пропорциональны скалярным произведениям $(e_1 p_1)$ и $(e_2 p_2)$;
3. если в интегралах $\Lambda^{(n)}$ выделить $(e_1 p_1)$ и $(e_2 p_2)$ $\Lambda^{(5)} = (-4e_1 p_1) \tilde{\Lambda}^{(5)}$, $\Lambda^{(6)} = (4e_1 p_1) \tilde{\Lambda}^{(6)}$, $\Lambda^{(7)} = (-4e_2 p_2) \tilde{\Lambda}^{(7)}$, $\Lambda^{(8)} = (4e_2 p_2) \tilde{\Lambda}^{(8)}$, то для интегралов $\tilde{\Lambda}^{(n)}$ справедливости соотношения $\tilde{\Lambda}^{(5)} = \tilde{\Lambda}^{(7)}$, $\tilde{\Lambda}^{(6)} = \tilde{\Lambda}^{(8)}$.

Выполним теперь процедуру регуляризации интеграла $\tilde{\Lambda}^{(5)}$ согласно работе [13]. Для этого перейдем от $\tilde{\Lambda}^{(5)}$ к $\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(5)} = \tilde{\Lambda}^{(5)} - \tilde{\Lambda}^{(5)}(0)$, где $\tilde{\Lambda}^{(5)}(0) = \tilde{\Lambda}^{(5)}(p_1^2 = p_2^2 = M^2, f^2 = M^2)$. Применяя методы размерной регуляризации к интегралу $\tilde{\Lambda}_2^{(5)}$ (20), представим его следующим образом:

$$\tilde{\Lambda}_2^{(5)} = \frac{i}{(4\pi)^2} \hat{\Omega} \left(\frac{2}{\varepsilon} - \gamma - \ln \frac{\Delta_5}{4\pi\mu^2} \right) Sp_2^{(5)},$$

где $\varepsilon = 4 - D$, γ – константа Эйлера-Маскерони, μ – параметр размерности массы. В этом выражении $Sp_2^{(5)} = 1 + 3x$. Если в (19) введем обозначения:

$$Sp_1^{(5)} = m^2 (1 + x_1) + x_1^2 \left[p^2 (1 - x_1) + (f^2 - p^2) x_3 \right],$$

$$Sp_1^{(5)}(\diamond) = m^2 (1 + x_1) + x_1^2 (1 - x_1) p^2,$$

$$\Delta_5(\diamond) = m^2 - p^2 x_1 (1 - x_1),$$

(нули в Δ_5 и $Sp^{(5)}$ указывают на то, что для этих величин выполняются соотношения $p_1^2 = M^2, p_2^2 = M^2, f^2 = M^2$), а также проведем вычитание, то в результате получим регуляризованную величину $\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(5)}$:

$$\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(5)} = \frac{i}{(4\pi)^2} \hat{\Omega} \left[\frac{Sp_1^{(5)}}{\Delta_5} - \frac{Sp_1^{(5)}(\diamond)}{\Delta_5(\diamond)} - Sp_2^{(5)}(0) \ln \frac{\Delta_5}{\Delta_5(\diamond)} \right]. \quad (21)$$

Разложим в (21) $\ln \frac{\Delta_5}{\Delta_5(\diamond)}$ по малой величине $\frac{\nu}{m}$ (ν – энергия фотона) и ограничимся вторым порядком в этом разложении. В результате получим

$$\ln \frac{\Delta_5}{\Delta_5(\diamond)} \approx - \frac{(f^2 - p^2) x_1 x_3}{m^2 - p^2 x_1 (1 - x_1)}.$$

Таким образом, выражение (21) принимает вид:

$$\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(5)} = \frac{i}{(4\pi)^2} \hat{\Omega} \frac{(f^2 - p^2) x_1 x_3}{\Delta_5(\diamond)} \left[1 + \frac{m^2 + 5x_1 m^2 - 3x_1 (1 - x_1) p^2 - 3x_1^2 x_3 (f^2 - p^2)}{\Delta_5} \right]. \quad (22)$$

Интеграл $\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(6)}$ определяется из (22) путем замены $x_1 \rightarrow x_3$ и $x_3 \rightarrow x_1$.

Результаты вычисления интегралов треугольных диаграмм $J^{(5)} - J^{(8)}$ можно представить следующим образом:

$$J^{(5)} = (ee_1) \lambda^2 \frac{(-8)(e_1 p_1)(e_2 p_2)(f^2 - p^2)}{(f^2 - p^2)} \tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(5)}, \quad (23)$$

$$J^{(6)} = (ee_2) \lambda^2 \frac{8(e_1 p_1)(e_2 p_2)(f^2 - p^2)}{(f^2 - p^2)} \tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(6)}, \quad (24)$$

$$J^{(7)} = (ee_1) \lambda^2 \frac{(-8)(e_1 p_1)(e_2 p_2)(f^2 - p^2)}{(f^2 - p^2)} \tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(7)}, \quad (25)$$

$$J^{(8)} = (ee_2) \lambda^2 \frac{8(e_1 p_1)(e_2 p_2)(f^2 - p^2)}{(f^2 - p^2)} \tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(8)}. \quad (26)$$

В выражениях (23)-(26) введены обозначения:

$$\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(5)} = \tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(7)} = \frac{i}{(4\pi)^2} \hat{\Omega} \frac{x_1 x_3}{\Delta_5(\diamond)} \left[1 + \frac{m^2 + 5x_1 m^2 - 3x_1 (1 - x_1) p^2 - 3x_1^2 x_3 (f^2 - p^2)}{\Delta_5} \right],$$

$$\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(6)} = \tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(8)} = \frac{i}{(4\pi)^2} \hat{\Omega} \frac{x_1 x_3}{\Delta_6(\diamond)} \left[1 + \frac{m^2 + 5x_3 m^2 - 3x_3 (1 - x_3) p^2 - 3x_3^2 x_1 (f^2 - p^2)}{\Delta_6} \right].$$

Из соотношений (23)-(26) следует:

1. амплитуды $J^{(5)} - J^{(8)}$ не содержат полюсов при $s = p^2$ и $u = p^2$;
2. поскольку амплитуды пропорциональны $(e_1 p_1)$ и $(e_2 p_2)$, то для реальных фото-

нов в системе покоя мишени вклад этих амплитуд в поляризуемости будет равен нулю.

3 Определение амплитуды петлевой диаграммы

Амплитуда петлевой диаграммы рис. 1, в) $J^{(9)}$ имеет вид:

$$J^{(9)} = e^2 \lambda^2 \frac{4(e_2 p_2)(e_1 p_1)}{(f^2 - M^2)^2} \Lambda^{(9)}.$$

Здесь

$$\Lambda^{(9)} = \int \frac{d^4 q}{(2\pi)^4} \frac{Sp^{(9)}}{\alpha_1^{(9)} \alpha_2^{(9)}}. \quad (25)$$

В (25) введены обозначения:

$$Sp^{(9)} = Sp \left[\gamma_5 (\hat{q} + \hat{f} + m) \gamma_5 (\hat{q} + m) \right],$$

$$\alpha_1^{(9)} = q^2 - m^2, \alpha_2^{(9)} = (q + f)^2 - m^2.$$

Поскольку след $Sp^{(9)} = (-4) \left[(q^2 - m^2) + (qf) \right]$, то $\Lambda^{(9)}$ соотношения (25) можно представить так:

$$\Lambda^{(9)} = 2 \left[f^2 \Lambda_9^{(12)} - \Lambda_9^{(1)} - \Lambda_9^{(2)} \right], \quad (26)$$

где

$$\Lambda_9^{(12)} = \frac{(\mu^2)^{4-D}}{(4\pi)^D} \int \frac{d^D q}{\alpha_1^{(9)} \alpha_2^{(9)}}, \quad \Lambda_9^{(1)} = \frac{(\mu^2)^{4-D}}{(4\pi)^D} \int \frac{d^D q}{\alpha_1^{(9)}}, \quad \Lambda_9^{(2)} = \frac{(\mu^2)^{4-D}}{(4\pi)^D} \int \frac{d^D q}{\alpha_2^{(9)}}.$$

Вычисляя интегралы в (26) методами размерной регуляризации, получим:

$$\Lambda^{(9)}(f^2) = \frac{2i}{(4\pi)^2} \left\{ \int_0^1 dx f^2 \left(\frac{2}{\varepsilon} - \gamma - \ln \frac{f^2 x(1-x) - m^2}{4\pi\mu^2} \right) - 2m^2 \left(\frac{2}{\varepsilon} + 1 - \gamma - \ln \frac{m^2}{4\pi\mu^2} \right) \right\}. \quad (27)$$

Регуляризацию $\Lambda^{(9)}(f^2)$ выражения (27) осуществим с помощью соотношения [13]

$$\Lambda_{\text{Reg}}^{(9)} = \Lambda^{(9)}(f^2) - \Lambda^{(9)}(f^2 = M^2) - \frac{\partial \Lambda^{(9)}}{\partial f^2} \bigg|_{f^2=M^2} (f^2 - M^2).$$

В результате выражение для $J^{(9)}$ примет вид:

$$J_{\text{Reg}}^{(9)} = e^2 \lambda^2 \frac{8(e_2 p_2)(e_1 p_1)}{(f^2 - M^2)^2} \frac{i}{(4\pi)^2} \tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(9)}(f^2).$$

В этом соотношении $\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(9)}(f^2)$ определено следующим образом:

$$\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(9)}(f^2) = \int_0^1 dx \left[\frac{(f^2 - M^2) M^2 x(1-x)}{M^2 x(1-x) - m^2} - f^2 \ln \frac{f^2 x(1-x) - m^2}{M^2 x(1-x) - m^2} \right]. \quad (28)$$

Разложим (28) по $(f^2 - M^2)$ и $\rho^2 = \frac{M^2}{m^2}$. Тогда приходим к выводу, что

$$\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(9)}(f^2) = \frac{(f^2 - M^2)^2}{m^2} \int_0^1 dx \frac{x(1-x)}{[1 - \rho^2 x(1-x)]} \left\{ 1 + \frac{(f^2 - M^2)x(1-x)}{2m^2[1 - \rho^2 x(1-x)]} + \frac{\rho^2 x(1-x)}{2[1 - \rho^2 x(1-x)]} \right\}. \quad (29)$$

Из (29) следует, что в нулевом приближении по ρ^2 и после интегрирования по x , $\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(9)}$ определяется так:

$$\tilde{\Lambda}_{\text{Reg}}^{(9)}(f^2) = \frac{(f^2 - M^2)^2}{6m^2} \left(1 + \frac{f^2 - M^2}{10m^2} \right).$$

Таким образом, регуляризованная амплитуда петлевой диаграммы принимает вид:

$$J_{\text{Reg}}^{(9)} = e^2 \lambda^2 \frac{8i}{(4\pi)^2} \frac{(e_2 p_2)(e_1 p_1)}{(f^2 - M^2)^2} \frac{(f^2 - M^2)^2}{6m^2} \left(1 + \frac{f^2 - M^2}{10m^2} \right). \quad (30)$$

Аналогичным образом можно определить амплитуду перекрестной диаграммы

$$J_{\text{Reg}}^{(9)} = e^2 \lambda^2 \frac{8i}{(4\pi)^2} \frac{(e_2 p_2)(e_1 p_1)}{(f'^2 - M^2)^2} \frac{(f'^2 - M^2)^2}{6m^2} \left(1 + \frac{f'^2 - M^2}{10m^2} \right), \quad (31)$$

где $f'^2 = u$.

Как видно из соотношений (30) и (31), полюса амплитуд при $f^2 = M^2$ и $f'^2 = M^2$ сокращаются и эти амплитуды также пропорциональны структурам $(e_2 p_2)(e_1 p_1)$ и $(e_1 p_2)(e_2 p_1)$.

Следовательно, вклад этих амплитуд в поляризуемости будет равен нулю в системе покоя мишени.

4 Поляризуемости пиона в кварково-полевой модели

Амплитуды диаграмм рис. 1 рассчитывались методами размерной регуляризации. Следовательно, структуры этих амплитуд инвариантны относительно калибровочных преобразований и преобразований Лоренца. Как известно, поляризуемости – это коэффициенты, которые стоят при спиновых структурах второго порядка по частоте излучения [14]. Поэтому для определения поляризуемостей пиона воспользуемся разложением амплитуд диаграмм рис. 1 по частоте излучения, при этом будем выполнять разложение в системе покоя мишени реального комптоновского рассеяния на пионе.

Сумму амплитуд рис. 1 можно свести к инвариантной структуре вида:

$$e_2 T e_1 = T_1(e_2 e_1) + T_2(e_2 p_1)(e_1 p_1) + T_3(e_2 p_1)(e_1 k_2) + T_4(e_2 k_1)(e_1 p_1) + T_5(e_2 k_1)(e_1 k_2). \quad (32)$$

Амплитуды T_i ($i=1$) являются скалярными функциями кинематических переменных s , t , u и свободные от кинематических особенностей. В случае комптоновского рассеяния реальных фотонов в кулоновской калибровке используем соотношения:

$$(e_1 k_1) = (e_2 k_2) = 0, \quad (e_1 p_1) = (\vec{e}_1 \vec{p}_1), \quad (e_2 p_1) = (\vec{e}_2 \vec{p}_1).$$

Как следует из соотношений (23)-(26), вклад треугольных диаграмм в поляризуемости равен нулю. В системе покоя мишени в кулоновской калибровке амплитуда (32) принимает вид:

$$e_2 T e_1 = T_1(\vec{e}_2 \vec{e}_1) + T_5(\vec{e}_2 \vec{k}_1)(\vec{e}_1 \vec{k}_2). \quad (33)$$

Вклады в T_1 и T_2 от амплитуд диаграмм рис. 1 разложим по частоте фотонов и при разложении ограничимся вторым порядком по $\frac{\nu}{m}$ (ν – энергия фотона). Результаты разложения свидетельствуют о том, что T_1 пропорциональна $(k_1 k_2) = -\frac{t}{2} = \omega_1 \omega_2 (1 - z)$, где z – косинус угла рассеяния. В связи с этим введем новую амплитуду, выделив множитель $(k_1 k_2)$ в T_1 :

$$T_1 = (k_1 k_2) t_1, \quad T_5 = t_5.$$

В этом случае (33) примет форму:

$$e_2 T e_1 = t_1 (k_1 k_2) (\vec{e}_2 \vec{e}_1) + t_5 (\vec{e}_2 \vec{k}_1)(\vec{e}_1 \vec{k}_2). \quad (34)$$

В свою очередь, амплитуду $e_2 T e_1$ при разложении по энергии фотонов до второго порядка можно определить через поляризуемости α_π и β_π [15]

$$e_2 T e_1 = 8\pi M \omega_1 \omega_2 \left[\alpha_\pi (\vec{e}_2 \vec{e}_1) + \beta_\pi (\vec{S}_2 \vec{S}_1) \right], \quad (35)$$

$$\text{где } \vec{S}_1 = \frac{[\vec{k}_1 \vec{e}_1]}{\omega_1}, \quad \vec{S}_2 = \frac{[\vec{k}_2 \vec{e}_2]}{\omega_2}.$$

Из сравнения выражений (34) и (35) следует:

$$\alpha_\pi = \frac{1}{8\pi M} [t_1 + (t_5 - t_1)z] \Big|_{z=1},$$

$$\beta_\pi = -\frac{t_5}{8\pi M} \Big|_{z=1}, \quad \text{где } z = \cos \theta.$$

Непосредственно из этих соотношений получаем, что

$$\alpha_\pi = -\beta_\pi = \frac{t_5}{8\pi M}. \quad (36)$$

Это заключение согласуется с результатами работы [16]. Как следует из (36), для оценки поляризуемости пиона достаточно определить t_5 . С учетом петлевых 4-х угольных диаграмм амплитуда t_5 в нулевом порядке по ρ^2 представляется в виде:

$$t_5 = \frac{16\lambda^2}{(4\pi)^2 m^2} \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} dx_2 \left[-(e_1^2 + e_2^2)(x_1 - 2x_1 x_2) + 2(e_1 e_2) x_2 \right] = \frac{16\lambda^2}{(4\pi)^2 6m^2} \left[-\frac{e_1^2 + e_2^2}{2} + 2e_1 e_2 \right]$$

Учитывая заряды и цвет кварков, из которых состоят заряженные пионы, получим:

$$\beta_\pi = \frac{\alpha}{24\pi^2 M F_\pi^2} \approx \frac{9\alpha}{4\pi^2 24M^3}. \quad (37)$$

В этом выражении введены величины $\alpha = \frac{e^2}{4\pi}$ – постоянная тонкой структуры, а также

$F_\pi = 92 \text{ МэВ} \approx \frac{2}{3} M$. Поляризуемость β_π , определяемая в (37), совпадает с оценкой вкладов петлевых кварковых диаграмм в поляризуемости [16], но, как отмечено в этой работе, величина электрической поляризуемости α_π отрицательная и не согласуется с экспериментальными данными по поляризуемости заряженных пионов:

$$\alpha_\pi \approx -\beta_\pi = (6,8 \pm 1,8) \cdot 10^{-4} \Phi \text{М}^3 \text{ [17]},$$

$$\alpha_\pi \approx -\beta_\pi = (5,8 \pm 1,7) \cdot 10^{-4} \Phi \text{М}^3 \text{ [18]},$$

$$\alpha_\pi + \beta_\pi = \begin{pmatrix} 13,0 & +2,6 \\ & -1,9 \end{pmatrix} \cdot 10^{-4} \Phi \text{М}^3 \text{ [19]}.$$

Поэтому, следуя работе [16], учтем вклад диаграмм обмена σ -мезонов между кварками и пионами в кварково-полевым подходе. В этом случае суммарная поляризуемость будет равна:

$$\beta_\pi = \beta_\pi(\diamond) + \beta_\pi(\sigma) = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{9\alpha}{24\pi M^3} - \frac{10\alpha}{8\pi M^3} \right] = -\frac{7\alpha}{32\pi^2 M^3}. \quad (38)$$

Из выражения (38) следует, что

$$\beta_\pi \approx -5 \cdot 10^{-43} \text{ см}^3 = -5 \cdot 10^{-4} \Phi \text{М}^3.$$

Заключение

Таким образом, в данной работе определена амплитуда низкоэнергетического комптоновского рассеяния и выполнены оценки поляризуемостей пиона в кварково-полевой модели в приближении петлевых диаграмм. Используя методы редукции петлевых диаграмм и ковариантный формализм размерной регуляризации мы установили, что:

1 амплитуды треугольных и петлевых двухточечных диаграмм не содержат полюсов на пороге комптоновского рассеяния на пионе;

2 эти амплитуды пропорциональны $(e_1 p_1)$ и $(e_2 p_2)$, а, следовательно, для реальных фотонов в системе покоя мишени их вклад в поляризуемости равен нулю;

3 оценки поляризуемостей пиона и сравнение с экспериментальными данными свидетельствует о необходимости учета вклада диаграмм обмена σ -мезонов между кварками и пионами.

Литература

1. Мороз, Л. Г. Матрица рассеяния с учетом взаимодействия Паули / Л. Г. Мороз, Ф. И. Федоров // ЖЭТФ. – 1960. – Т. 39. – Вып. 2. – С. 293-303.
2. Крылов, Б. В. Спиновые частицы в поле плоской электромагнитной волны / Б. В. Крылов, А. Ф. Радюк, Ф. И. Федоров // Препринт АН БССР. Ин-т физики. – 1976. – № 113. – 60 с.
3. Максименко, Н. В. Поляризуемость и гирация элементарных частиц / Н. В. Максименко, Л. Г. Мороз // Вопросы атомной науки и техники. Серия: общая и ядерная физика. – 1979. – № 4(10). – С. 26-27.
4. Левчук, М. И. Гирация нуклона как одна из характеристик его электромагнитной структуры / М. И. Левчук, Л. Г. Мороз // Весці АН БССР. Сер. фіз.-мат. навук. – 1985. – № 1. – С. 45-54.
5. Андреев, В. В. Статическая электрическая поляризуемость релятивистской электрически нейтральной системы в гамильтоновой динамике / В. В. Андреев, Н. В. Максименко

// В сб. науч. трудов «Ковариантные методы в теоретической физике. Физика элементарных частиц и теория относительности» под ред. А. Богуша, Л. Томильчика. Институт физики НАН Беларуси. – Вып. 5. – Минск: ИФ НАНБ. – 2001. – С. 26-31.

6. Барышевский, В. Г. Ядерная оптика поляризованных сред / В. Г. Барышевский. – Москва: Энергоатомиздат. – 1995. – 315 с.

7. Богуш, А. А. Введение в теорию классических полей / А. А. Богуш, Л. Г. Мороз. – Минск: Наука и техника. – 1968. – 387 с.

8. Богуш, А. А. Введение в калибровочную полевую теорию электрослабых взаимодействий / А. А. Богуш. – Минск: Наука и техника. – 1987. – 359 с.

9. Бьёркен, Дж. Д. Релятивистская квантовая теория поля / Дж. Д. Бьёркен, Е. Д. Дрелл. – М.: Наука. – 1978. – Т. 1. – 295 с.

10. Максименко, Н. В. Низкоэнергетическое комптоновское рассеяние и поляризуемость адронов спина 0 в калибровочно-инвариантном подходе / Н. В. Максименко, Е. В. Ваккулина // Известия вузов. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 7. – С. 84-88.

11. Максименко, Н. В. Низкоэнергетическое разложение амплитуды комптоновского рассеяния на адроне и одновременные коммутаторы токов / Н. В. Максименко, С. Г. Шульга // Ядерная физика. – 1990. – Т. 52. – Вып. 2(8). – С. 524-534.

12. Пескин, М. Введение в квантовую теорию поля / М. Пескин, Д. Шредер. – М. Ижевск. – 2001. – 783 с.

13. Llanta, E. Pion electromagnetic polarizabilities and quarks / E. Llanta, K. Tarrach // Phys. Lett. – 1980. – V. 91B. – № 1. – P. 132-136.

14. Петрунькин, В. А. Электрическая и магнитная поляризуемости адронов / В. А. Петрунькин // ЭЧАЯ. – 1981. – Т. 12. – Вып. 3. – С. 692-753.

15. Львов, А. И. Правила сумм для коэффициентов электрической и магнитной поляризуемостей адронов / А. И. Львов, В. А. Петрунькин, С. А. Старцев // Препринт ФИАН. – 1976. – № 173. – С. 25.

16. Львов, А. И. Поляризуемости пионов в σ -модели с кварками / А. И. Львов // Ядерная физика. – 1981. – Т. 34. – Вып. 2(8). – С. 522-528.

17. Antipov, Y. M. Experimental evaluation of the sum of the electric and magnetic polarizabilities of pions / Y. M. Antipov [et. al.] // Z. Phys. – 1985. – V. C26. – P. 495-499.

18. Ahrens, J. Measurement of the π^+ -meson polarizabilities via the $\gamma + p \rightarrow \gamma + \pi^+ + n$ reaction / J. Ahrens [et. al.] // Eur. Phys. J. – 2005. – V. A23. – P. 113-127.

19. Fil'kov, L. V. Determination of π^+ -meson polarizabilities from the $\gamma + \gamma \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ process / L. V. Fil'kov, V. L. Kashevarov // Phys. Rev. – 2006. – V. C73. – P. 035210.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 25.05.11

филиал ГОУВПО «Брянский государственный
университет имени академика И. Г. Петровского»

УДК 539.12

Квазистатические динамические поляризуемости спинорной частицы в КЭД

В. В. АНДРЕЕВ, А. М. СЕЙТЛИЕВ

На основе разработанной методики получены выражения для квазистатических поляризуемостей γ_0 и $\gamma_0^{dyn}(\nu)$, которые представляют собой электромагнитные поправки к поляризуемостям в общем случае.

Данный подход открывает более широкие возможности для изучения внутренней структуры нуклонов и может быть применен в рамках различных квантово-полевых теорий и моделей.

Ключевые слова: поляризуемость, комптоновское рассеяние, инвариантные амплитуды, матричный элемент.

On the basis of the developed technique the formulae for quasistatic polarizabilities γ_0 and $\gamma_0^{dyn}(\nu)$ that represent electromagnetic corrections to polarizability in general are received.

The given approach opens more ample opportunities for nucleon internal structure studying and can be applied within the limits of various quantum-field theories and models.

Keywords: polarizability, Compton scattering, invariant amplitudes, matrix element.

Введение

Низкоэнергетическое комптоновское рассеяние на адронах является важным инструментом для исследования взаимодействия элементарных частиц с внешним электромагнитным полем. Так, если в длинноволновом пределе для реакции рассеяния можно определить только заряд мишени (томпсоновский предел), то с ростом энергий фотонов начинает проявляться внутренняя структура системы. Эти структурные эффекты в случае неполяризованного комптоновского рассеяния учитываются путем введения в формулу сечения двух параметров: электрической α_E и магнитной β_M поляризуемости адрона.

В целом ряде работ [1-4] было показано, что, кроме электрической и магнитной поляризуемости, в комптоновском рассеянии (КР) электромагнитные характеристики системы описываются и функциями $\gamma_{1,...,4}$. Эти параметры по аналогии с α_E и β_M получили название “спиновых поляризуемостей” [1-3] или “тираций” [1-2].

Изучение поляризуемостей позволит углубить наше понимание внутренней структуры протона и других адронов с одной стороны и, в то же самое время, послужит проверкой теоретического обоснования введения подобных характеристик [5].

При изучении поляризуемостей весьма актуальной задачей остается разработка различных методов, позволяющих получать теоретические оценки поляризуемостей, а также извлекать эти параметры из экспериментальных данных. Важным моментом в подобного рода исследованиях является получение инвариантных амплитуд комптоновского рассеяния, которые непосредственно связаны с вышеуказанными структурными характеристиками.

В данной работе рассмотрена оригинальная методика извлечения инвариантных амплитуд для различных квантово-полевых теорий и моделей путем сравнения с общим выражением для амплитуды комптоновского рассеяния (АКР). Характерной особенностью данной методики является непосредственный расчет АКР как скалярной функции, зависящей от мандельштамовских переменных методом базисных спиноров (МБС) [6, 7]. В рамках методики найдены

так называемые “квазистатические”, а также “динамические” квазистатические поляризуемости, которые возникают в рамках квантовой электродинамики (КЭД) при учете следующего за борновским порядком теории возмущений.

1 Комптоновское рассеяния на фермионе

Для описания кинематики реакции комптоновского рассеяния на фермионе f спина $1/2$

$$f(p, \lambda) + \gamma(k, \sigma) \rightarrow f(p', \lambda') + \gamma(k', \sigma') , \quad (1)$$

где p и p' — импульсы начального и конечного фермионов со спиральностями λ и λ' , соответственно; k и k' — импульсы входящего и исходящего фотонов со спиральностями σ , σ' , выберем систему центра инерции (СЦИ).

Кинематика в СЦИ относительно простая и задается при помощи энергии одной из частиц и угла рассеяния в соответствующей плоскости. Энергия начального фермиона связана с энергией фотона $E_\gamma = \omega$ соотношением:

$$E_f = \sqrt{E_\gamma^2 + m_f^2} , \quad \beta = E_\gamma / E_f . \quad (2)$$

Выбрав в качестве направления движения пучка фермионов ось Z и плоскость X - Z как плоскость рассеяния, получим, что компоненты 4-векторов импульсов реакции (1) и векторов поляризации фотонов имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} p &= E_f(1, 0, 0, \beta) , & p' &= E_f(1, \beta \sin \theta, 0, \beta \cos \theta) , \\ k &= E_\gamma(1, 0, 0, -1) , & k' &= E_\gamma(1, -\sin \theta, 0, -\cos \theta) , \end{aligned} \quad (3)$$

$$\varepsilon_\sigma(k) = \frac{1}{\sqrt{2}}(0, 1, \mp i, 0) , \quad \varepsilon_{\sigma'}^*(k') = \frac{1}{\sqrt{2}}(0, \cos \theta, \pm i, -\sin \theta) , \quad (\sigma, \sigma' = \pm 1) . \quad (4)$$

Мандельштамовские переменные бинарной реакции (1)

$$\begin{aligned} s &= (p + k)^2 = (p' + k')^2 = (E_f + E_\gamma)^2 , \\ t &= (p - p')^2 = (k - k')^2 = -4E_\gamma^2 \sin^2(\theta/2) , \\ u &= (p - k')^2 = (p' - k)^2 = (E_f - E_\gamma)^2 - 4E_\gamma^2 \cos^2(\theta/2) \end{aligned} \quad (5)$$

связаны соотношением

$$s + t + u = 2 m_f^2 . \quad (6)$$

Помимо этого, удобно ввести ряд дополнительных переменных:

$$\begin{aligned} s_m &= s - m_f^2 = 2E_\gamma \sqrt{s} , & t_m &= t - 4m_f^2 , \\ u_m &= u - m_f^2 = -2E_\gamma \left(2E_\gamma \cos^2(\theta/2) + \frac{m_f^2}{\sqrt{s}} \right) , \\ r &= \sqrt{m_f^4 - su} = s_m \cos(\theta/2) , & \nu &= \frac{s - u}{4m_f} , \end{aligned} \quad (7)$$

с помощью которых конечные выражения примут более компактный вид.

Матричный элемент реакции комптоновского рассеяния (1), в самом общем случае, записывается следующим образом [8, 9]:

$$\mathcal{T}_{\lambda, \sigma}^{\lambda', \sigma'} = \varepsilon_{\sigma'}^\mu(k') \varepsilon_\sigma^{*\nu}(k) \bar{u}_{\lambda'}(p') H^{\mu\nu} u_\lambda(p) . \quad (8)$$

Тензор амплитуды комптоновского рассеяния $H^{\mu\nu}$ задается при помощи шести инвариантных амплитуд $T_1 \dots T_6$, называемых амплитудами Пранжа в виде [9, 10]:

$$H^{\mu\nu} = -\frac{P'^\mu P'^\nu}{P'^2}(T_1 + T_2 \hat{K}) - \frac{N^\mu N^\nu}{N^2}(T_3 + T_4 \hat{K}) + \\ + i\frac{P'^\mu N^\nu - P'^\nu N^\mu}{P'^2 K^2} \gamma_5 T_5 + i\frac{P'^\mu N^\nu + P'^\nu N^\mu}{P'^2 K^2} \gamma_5 \hat{K} T_6, \quad (9)$$

где 4-вектора P^μ , Q^μ , K^μ и N^μ — это линейные комбинации импульсов реакции:

$$P^\mu = \frac{1}{2}(p + p')^\mu, K^\mu = \frac{1}{2}(k + k')^\mu, Q^\mu = \frac{1}{2}(k' - k)^\mu, \\ P'^\mu = P^\mu - \frac{P \cdot K}{K^2} K^\mu, N^\mu \equiv \varepsilon^{\mu\nu\alpha\beta} P'_\nu Q_\alpha K_\beta. \quad (10)$$

В соотношениях (9), (10) антисимметричный тензор Леви-Чивита выбран так, чтобы $\varepsilon^{0123} = 1$, а матрица $\gamma_5 = i\gamma_0\gamma_1\gamma_2\gamma_3$.

Амплитуды T_k являются скалярными функциями, зависящими от двух мандельштамовских переменных ν и t и не имеют кинематических сингулярностей, но имеют кинематические связи, возникающие из-за обращения в ноль знаменателей в уравнении (9) при некоторых значениях ν и t (см. подробнее об этом [9]).

По этой причине вводят инвариантные амплитуды $A_i(\nu, t)$, ($i = 1, \dots, 6$) [9, 11]:

$$A_1 = \frac{1}{t}(T_1 + T_3 + \nu(T_2 + T_4)), \quad A_2 = \frac{1}{t}(2T_5 + \nu(T_2 + T_4)), \\ A_3 = \frac{m_f^2}{r^2} \left(T_1 - T_3 - \frac{t}{4\nu}(T_2 - T_4) \right), \quad A_4 = \frac{m_f^2}{r^2} \left(2m_f T_6 - \frac{t}{4\nu}(T_2 - T_4) \right), \\ A_5 = \frac{1}{4\nu}(T_2 + T_4), \quad A_6 = \frac{1}{4\nu}(T_2 - T_4). \quad (11)$$

Отметим, что в предлагаемой методике наличие кинематических связей устраняется за счет явного вычисления амплитуды (8).

Амплитуды $A_i(\nu, t)$, называемые в литературе амплитудами Львова, симметричны относительно замены $\nu \rightarrow -\nu$

$$A_i(-\nu, t) = A_i(\nu, t). \quad (12)$$

Знание инвариантных амплитуд позволяет напрямую получить информацию о таких структурных характеристиках фермионов, как поляризуемости. Так, электрическая α_E и магнитная β_M поляризуемости определяются посредством уравнений [9, 10]:

$$\alpha_E + \beta_M = -\frac{1}{2\pi}(a_3 + a_6), \quad \alpha_E - \beta_M = -\frac{1}{2\pi}a_1, \quad (13)$$

где a_i представляет собой разницу между инвариантной амплитудой $A_i(\nu, t)$ и ее борновской частью $A_i^B(\nu, t)$ при $\nu, t \rightarrow 0$ т.е.

$$a_i \equiv [A_i(\nu, t) - A_i^B(\nu, t)]_{\nu, t=0}. \quad (14)$$

Спиновые поляризуемости (или гирации [1,2]) γ_0, π связаны с (11) соотношениями:

$$\gamma_0 = \frac{1}{2\pi m_f} a_4, \quad \gamma_\pi = -\frac{1}{2\pi m_f} (a_2 + a_5). \quad (15)$$

2 Динамические поляризуемости

Матричный элемент реакции комптоновского рассеяния (8) в случае рассеяния вперед может быть представлен в следующем виде [11]:

$$\mathcal{T}_{\lambda, \sigma}^{\lambda', \sigma'}(\nu, t=0) = \chi_{\lambda'}^\dagger [(\boldsymbol{\varepsilon}'^* \boldsymbol{\varepsilon}) f(\nu) + (\boldsymbol{\sigma} [\boldsymbol{\varepsilon}'^* \times \boldsymbol{\varepsilon}]) g(\nu)] \chi_\lambda. \quad (16)$$

Здесь $\boldsymbol{\varepsilon}$ и $\boldsymbol{\varepsilon}'$ — трехмерные вектора поляризации фермиона, в начальном и конечном состояниях соответственно, $\boldsymbol{\sigma} = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3\}$ — матрицы Паули, $\chi, \chi^\dagger$ — спиноры. В силу кроссинг-симметрии амплитуда $\mathcal{T}$ инвариантна относительно замен $\boldsymbol{\varepsilon} \rightarrow \boldsymbol{\varepsilon}'$ и $\nu \rightarrow -\nu$, в результате чего для функций $f(\nu)$ и $g(\nu)$ справедливо:

$$f(\nu) = f(-\nu), \quad g(\nu) = -g(-\nu). \quad (17)$$

Разлагая функцию $g(\nu)$ в ряд по ν до пятого порядка, можно получить следующее выражение:

$$g(\nu) = -\frac{e^2 k_N^2}{8\pi M_f} \nu + \gamma_0 \nu^3 + \bar{\gamma}_0 \nu^5, \quad (18)$$

где γ_0 — спиновая поляризуемость (15); коэффициент $\bar{\gamma}_0$ определяет структурную характеристику, которая проявляется при частотах фотона больше, чем ω^3 ; k_N — аномальный магнитный момент фермиона, который в нашем случае равен нулю.

В случае комптоновского рассеяния вперед дисперсионная часть матричного элемента определяется инвариантной амплитудой Льюова A_4 . Функция $g(\nu)$ связана с данной амплитудой при помощи соотношения:

$$A_4(\nu, t=0) = \frac{2\pi m_f}{\nu^3} [g(\nu) - \nu g'(0)]. \quad (19)$$

Слагаемое $g'(0)$ в силу (18) представляет собой величину $\sim$ аномальному магнитному моменту k_N и, в силу равенства последнего нулю, не вносит вклада в выражение (19). Таким образом, функция $g(\nu)$ связана с A_4 следующим образом:

$$g(\nu) = \frac{\nu^3}{2\pi m_f} A_4(\nu, t=0). \quad (20)$$

Величина $\bar{\gamma}_0$ также может быть определена через амплитуду A_4 посредством выражений:

$$\bar{\gamma}_0 = \frac{a_{4, \nu}}{2\pi m_f}, \quad a_{4, \nu} = \frac{\partial}{\partial \nu} (A_i(\nu, 0) - A_i^B(\nu, 0))|_{\nu=0}. \quad (21)$$

Следуя [11], введем понятие “динамической” поляризуемости γ_0^{dyn} посредством уравнения:

$$\gamma_0^{dyn}(\nu) = \gamma_0 + \bar{\gamma}_0 \nu^2. \quad (22)$$

Поляризуемость γ_0^{dyn} характеризует интенсивность взаимодействия нуклона, вследствие наличия спина с электромагнитным полем с учетом вкладов всех мультиполей и эффектов запаздывания.

3 Методика получения инвариантных амплитуд

Стандартной методикой вычисления поляризуемостей фермионов в рамках какой-либо модели являются правила сумм, которые основаны на интегральных комбинациях сечений КР. Наиболее известным является правило сумм Балдина [12]:

$$\alpha_E + \beta_M = -\frac{1}{2\pi^2} \int_0^\infty \frac{\sigma_{1/2}(\omega) + \sigma_{3/2}(\omega)}{2\omega^2} d\omega, \quad (23)$$

где $\sigma_{1/2,3/2}(\omega)$ — поляризационные полные сечения фотопоглощения на фермионе для двух возможных комбинаций полного спина начальной системы.

Схема получения информации о поляризуемостях, с использованием правила сумм (23), состоит из:

- расчета в рамках модели амплитуды $\mathcal{M}_{\lambda,\sigma}^{\lambda',\sigma'}$ с помощью соответствующих правил Фейнмана,
- вычисления поляризационных сечений реакции комптоновского рассеяния,
- расчета (аналитически или численно) интеграла в (23).

Аналогичная расчетная схема используется и для других правил сумм. Безусловно такие вычисления являются громоздкими и требуют значительных затрат.

В данной работе предлагается методика извлечения инвариантных амплитуд путем сравнения АКР (8) и амплитуды, рассчитанной в рамках какой-либо модели, т.е. решения системы уравнений

$$\mathcal{M}_{\lambda,\sigma}^{\lambda',\sigma'} = \mathcal{T}_{\lambda,\sigma}^{\lambda',\sigma'} \quad (24)$$

для различных значений спиральностей фотонов и фермионов.

Характерной особенностью данной методики является непосредственный расчет АКР (8) как скалярной функции, зависящей от мандельштамовских переменных (5), (7) и амплитуд Львова (Пранжа) и модельной амплитуды $\mathcal{M}_{\lambda,\sigma}^{\lambda',\sigma'}$. Такие вычисления проведем используя метод базисных спиноров (МБС) [6, 7].

Используя МБС и кинематику в с.ц.и. находим, что

$$\begin{aligned} \mathcal{T}_{\lambda,\sigma}^{\lambda',\sigma'} &= \sqrt{-t} \delta_{\lambda,-\lambda'} \times \\ &\times \left[\frac{\lambda}{2} \left(\frac{m_f^2 + s}{s_m} (T_1 - T_3 \sigma \sigma') + m_f (T_2 - T_4 \sigma \sigma') \right) - \sigma T_5 \delta_{\sigma,-\sigma'} \right] + \\ &+ r \delta_{\lambda,\lambda'} \left[\lambda \sigma T_6 \delta_{\sigma,\sigma'} - \frac{1}{2} (T_2 - \sigma \sigma' T_4) - \frac{m_f}{s_m} (T_1 - \sigma \sigma' T_3) \right]. \end{aligned} \quad (25)$$

Выберем в качестве независимых спиральных амплитуд реакции комптоновского рассеяния, вычисляемого в какой-либо модели набор вида

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_1 &= \mathcal{M}_{++}^{++}, \quad \mathcal{M}_2 = \mathcal{M}_{+-}^{+-}, \\ \mathcal{M}_3 &= \mathcal{M}_{+-}^{+-}, \quad \mathcal{M}_4 = \mathcal{M}_{--}^{--}, \\ \mathcal{M}_5 &= \mathcal{M}_{++}^{+-}, \quad \mathcal{M}_6 = \mathcal{M}_{+-}^{--}. \end{aligned} \quad (26)$$

Составляя систему из шести уравнений, каждое из которых будет соответствовать определенной комбинации $(\lambda, \sigma, \lambda', \sigma')$, получим ее решение относительно инвариантных амплитуд Пранжа $T_1, \dots, T_6$, через матричные элементы (26):

$$\begin{aligned} T_1 &= -\frac{1}{2 r \sqrt{-t}} \left[r (\mathcal{M}_3 + 2\mathcal{M}_4 + \mathcal{M}_6) + m_f \sqrt{-t} (\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 + 2\mathcal{M}_5) \right], \\ T_2 &= \frac{1}{2 r s_m \sqrt{-t}} \left[2 m_f r (\mathcal{M}_3 + 2\mathcal{M}_4 + \mathcal{M}_6) + (m_f^2 + s) \sqrt{-t} (\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 + 2\mathcal{M}_5) \right], \\ T_3 &= \frac{1}{2 r \sqrt{-t}} \left[r (\mathcal{M}_3 - 2\mathcal{M}_4 + \mathcal{M}_6) - m_f \sqrt{-t} (\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 - 2\mathcal{M}_5) \right], \\ T_4 &= \frac{1}{2 r s_m \sqrt{-t}} \left[(m_f^2 + s) \sqrt{-t} (\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 - 2\mathcal{M}_5) - 2 m_f r (\mathcal{M}_3 - 2\mathcal{M}_4 + \mathcal{M}_6) \right], \\ T_5 &= \frac{1}{2 \sqrt{-t}} (\mathcal{M}_3 - \mathcal{M}_6), \\ T_6 &= \frac{1}{2r} (\mathcal{M}_1 - \mathcal{M}_2). \end{aligned} \quad (27)$$

Используя определение (11), несложно получить и выражения для амплитуд $A_1, \dots, A_6$ через модельные спиральные амплитуды (26).

Данная методика извлечения каких-либо линейных комбинаций величин $a_1, \dots, a_6$ (см.(13),(15)) может быть упрощена в ситуации, когда требуется знание инвариантных амплитуд при каких-либо частных значениях инвариантных переменных ν, t

Так, для случая $t = 0$ (рассеяние вперед), амплитуда (8) после ряда преобразований запишется в виде:

$$\mathcal{T}_{\lambda,\sigma}^{\lambda',\sigma'}|_{t=0} = -4\nu^2 [(a_3 + a_6) m_f - \lambda\sigma\nu a_4] \delta_{\lambda,\lambda'} \delta_{\sigma,\sigma'}. \quad (28)$$

Из (28) следует, что для получения $a_3 + a_6 \pm \nu a_4$ достаточно вычислить амплитуды $\mathcal{M}_1$ и $\mathcal{M}_2$ и соответственно отпадает необходимость решения всей системы уравнений (27).

Аналогичные вычисления для рассеяния назад ($r = 0$) приводят к выражению

$$\mathcal{T}_{\lambda,\sigma}^{\lambda',\sigma'}|_{r=0} = -\frac{\sqrt{-t}}{8m_f^2} [\lambda\sqrt{tt_m} (4a_1m_f^2 - a_5t) + \sigma t (4a_2m_f^2 - a_5t_m)] \delta_{\lambda,-\lambda'} \delta_{\sigma,-\sigma'}, \quad (29)$$

из которого следует, что только амплитуды $\mathcal{M}_3$ и $\mathcal{M}_6$ способны дать информацию о возникающих там линейных комбинациях a_i .

4 Расчет динамической квазистатической поляризуемости в КЭД

Применим вышеизложенную методику для получения квазистатических поляризуемостей в КЭД. Для этого необходимо учесть следующий за борновским порядок теории возмущений, который будет воспроизводить структуры аналогичные поляризуемостям адронов спина 1/2, но за счет электромагнитных, а не сильных взаимодействий. По этой причине такие величины играют роль электромагнитных поправок к поляризуемостям.

АКР в КЭД с учетом следующего порядка теории по α можно записать в следующем виде:

$$\mathcal{M} = \mathcal{M}_B + \mathcal{M}_L, \quad (30)$$

где $\mathcal{M}_B$ — амплитуда в борновском приближении, $\mathcal{M}_L$ — сумма матричных элементов, обусловленных вкладом однопетлевых диаграмм. Вклады в результирующую амплитуду $\mathcal{M}_L$ обусловлены диаграммами представленными на рисунке 1.

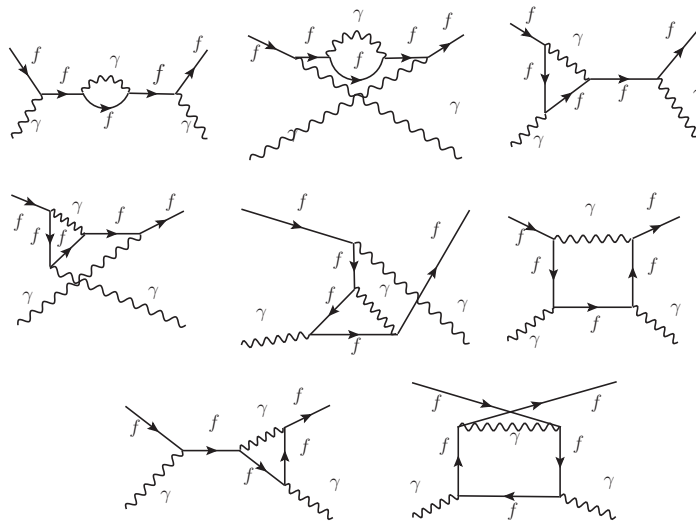


Рисунок 1: Однопетлевые диаграммы в КЭД для реакции $f\gamma \rightarrow f\gamma$

Полный расчет матричных элементов АКР для различных значений спиральностей фотонов и фермионов проведен в работе [13] на основе методики, представленной в [15]. Ниже приведем результаты [13] с учетом фазового множителя $\lambda \lambda'$ с целью корректного сравнения их с общей АКР (25):

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_{1,\mathcal{L}} = 2\alpha^2 \frac{r}{s_m} & \left\{ \frac{s_m^2 u + m_e^2 t^2 - 2m_f^4 t}{s u_m u} + 4m_f^2 \frac{s_m^2 + m_f^2 t}{s_m u_m} B' + \frac{2t}{t_m} B_{mm}(t) + \right. \\ & + m_f^2 \frac{5s^2 - 2m_f^2 s + m_f^4}{s s_m^2} B_{0m}(s) + \frac{r^2 u + 2tu^2 + 4m_f^2 u^2 + m_f^4 t}{u u_m^2} B_{0m}(u) + \\ & + \frac{1}{r^2} \left[-t(s^2 + t^2 + m_f^2 t - 9m_f^4) C_{mmm}(t) + t_m (s_m^2 - t^2 - m_f^2 t) C_{m0m}(t) - \right. \\ & - 2s_m [s^2 - m_f^2 (4s + u)] C_{0mm}(s) - 2u_m (t^2 + 3m_f^2 s - 7m_f^4) C_{0mm}(u) + \\ & + [s_m^3 t - m_f^2 s_m (2s_m^2 + s_m t_m - t t_m) + 2m_f^4 t^2 - 4m_f^6 t] + D_{m0mm}(t, s) + \\ & \left. \left. + [t^3 u_m + m_f^2 (2t^3 + s_m^2 u_m - s_m u_m^2) - 2m_f^4 (s_m^2 - 3u_m^2) - 4m_f^6 t] D_{m0mm}(t, u) \right] \right\}, \quad (31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_{2,\mathcal{L}} = 2\alpha^2 \frac{r}{s_m} & \left\{ -\frac{u_m}{u} + 4m_f^2 \frac{r^2}{s_m u_m} B' + 2t \frac{s_m^2 + m_f^2 (3s_m - u_m)}{r^2 t_m} B_{mm}(t) - \right. \\ & - (s + m_f^2) \frac{s_m^2 (2s_m + 3u) + 5m_f^2 s_m u_m - 2m_f^4 t}{r^2 s_m^2} B_{0m}(s) - \\ & - m_f^2 \frac{3s_m u u_m^2 - 2u_m^4 - m_f^2 (4r^2 u + u_m^3)}{r^2 u u_m^2} B_{0m}(u) + \\ & + \frac{1}{r^4} \left[-t[2r^2 s t_m + s^2 s_m^2 + m_f^2 (s_m^3 - s s_m u_m + s_m u u_m - u u_m^2)] C_{mmm}(t) + \right. \\ & + t_m [s_m^3 (s_m + 2t) - m_f^2 t^2 (4s_m + t) - m_f^4 t^2] C_{m0m}(t) \\ & - 2s_m [s^2 t t_m - m_f^2 s s_m (3s_m + 2t) + m_f^4 s_m u_m] C_{0mm}(s) + \\ & + 2u_m [r^2 s u + m_f^2 u (s_m t + u_m^2) + m_f^4 (2s_m^2 + 3st)] C_{0mm}(u) + \\ & + (s + m_f^2) [s^2 t^3 + m_f^2 s_m^2 (2s_m^2 + 3s_m t - 2t^2) - 5m_f^4 s_m t^2 - 2m_f^6 t^2] D_{m0mm}(t, s) \\ & + [s_m^2 t u_m^3 + m_f^2 u_m (3t^3 u + t^2 u_m^2 - 5t u_m^3 - 2u_m^4) - m_f^4 u_m^2 (5t^2 + 6t u_m - 4u_m^2) \\ & \left. \left. + 2m_f^6 t^2 (t - 2u)] D_{m0mm}(t, u) \right] \right\}, \quad (32) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_{3,\mathcal{L}} = -4\alpha^2 \frac{m_f \sqrt{-t}}{s_m} & \left\{ \frac{s_m}{u_m} + 2m_f^2 \frac{s t}{s_m u_m} B' + s \frac{3s - m_f^2}{s_m^2} B_{0m}(s) + \right. \\ & + \frac{3s u + m_f^2 s - 2m_f^4}{u_m^2} B_{0m}(u) - 2m_f^2 C_{mmm}(t) - 2m_f^2 \frac{t}{u_m} C_{0mm}(u) - \\ & \left. - m_f^2 t D_{m0mm}(t, u) + (st - 3m_f^2 s + m_f^4) [D_{m0mm}(t, s) + D_{m0mm}(t, u)] \right\}, \quad (33) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{M}_{4,\mathcal{L}} = & -2\alpha^2 \frac{m_f \sqrt{-t}}{s_m} \left\{ -\frac{r^2}{uu_m} + 4m_f^2 \frac{r^2}{s_m u_m} B' + 2 \frac{s-u}{t_m} B_{mm}(t) + 4 \frac{s^2}{s_m^2} B_{0m}(s) - \right. \\
 & - \frac{r^2 u_m + 2uu_m^2 - 4m_f^4 u}{uu_m^2} B_{0m}(u) + \\
 & + \frac{1}{r^2} \left[-t(2st + uu_m - 7m_f^2 s - m_f^4) C_{mmm}(t) + t_m(2s_m^2 - u_m^2 - m_f^2 t) C_{m0m}(t) + \right. \\
 & - 2s_m(r^2 - 2s^2 - 2m_f^2 s) C_{0mm}(s) + 2u_m(2s+t)(u + m_f^2) C_{0mm}(u) + \\
 & - (s_m^3 t - s^2 t t_m - 4m_f^2 s s_m^2 - m_f^2 s t^2) D_{m0mm}(t, s) + \\
 & \left. \left. + (t^2 u^2 + 2t_m u_m^3 + 4m_f^2 u u_m^2 + m_f^4 t t_m) D_{m0mm}(t, u) \right] \right\}, \quad (34)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{M}_{5,\mathcal{L}} = & 2\alpha^2 \frac{m_f^2 r}{s_m u_m} \left\{ \frac{s-u}{m_f^2} + 4m_f^2 \frac{t}{s_m} B' + 4 \frac{s u_m}{s_m^2} B_{0m}(s) + 2 \frac{(2u-t)}{u_m} B_{0m}(u) + \right. \\
 & + \frac{1}{r^2} \left[-2u_m [s_m(s-u) + 2m_f^2 t] C_{mmm}(t) - 2st u_m C_{0mm}(s) - 2t(r^2 - m_f^2 u_m) C_{0mm}(u) + \right. \\
 & - u_m [st(s+2u) + 4m_f^2 r^2 - 3m_f^4 t] [D_{m0mm}(t, s) + D_{m0mm}(t, u)] + \\
 & \left. \left. - t^2 u_m (s + m_f^2) D_{m0mm}(t, u) \right] \right\}, \quad (35)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{M}_{6,\mathcal{L}} = & -4\alpha^2 \frac{m_f^3 \sqrt{-t}}{s_m^2} \left\{ -\frac{s_m}{m_f^2} + 2m_f^2 \frac{t}{u_m} B' + \frac{s+m_f^2}{s_m} B_{0m}(s) + s_m \frac{3u-m_f^2}{u_m^2} B_{0m}(u) - \right. \\
 & - 2s_m [C_{mmm}(t) + C_{0mm}(s) - C_{0mm}(u)] - s_m(2s+u_m) D_{m0mm}(t, s) - \\
 & \left. - s_m(s+m_f^2) D_{m0mm}(t, u) \right\}. \quad (36)
 \end{aligned}$$

Функции в соотношениях (31)-(36) определены посредством уравнений

$$\begin{aligned}
 B' = & -\frac{1}{m_f^2} \left[1 + \ln \left(\frac{\lambda}{m_f} \right) \right], \quad B_{mm}(t) = \beta_t \ln(x_t), \\
 B_{0m}(v) = & -\frac{v_m}{v} \ln \left(-\frac{v_m + i\epsilon}{m_f^2} \right), \quad C_{mmm}(t) = \frac{1}{2t} \ln^2(x_t), \\
 C_{m0m}(t) = & \frac{1}{\beta_t t} \left[\ln \left(\frac{\lambda^2}{m_f^2} \right) \ln(x_t) + \frac{1}{2} \ln^2(x_t) + 2\text{Li}(1+x_t) - \frac{\pi^2}{2} - 2\pi i \ln(1+x_t) \right], \\
 C_{0mm}(v) = & \frac{1}{v_m} \left[\text{Li} \left(-\frac{v_m + i\epsilon}{m_f^2} \right) + \ln \left(\frac{v + i\epsilon}{m_f^2} \right) \ln \left(-\frac{v_m + i\epsilon}{m_f^2} \right) \right], \\
 D_{m0mm}(t, v) = & \frac{1}{\beta_t t v_m} \left[2 \ln(x_t) \ln \left(\frac{\lambda m_f}{-v_m - i\epsilon} \right) - 2\text{Li}(1-x_t) \right. \\
 & \left. + 2\text{Li}(1+x_t) - \frac{\pi^2}{2} - 2\pi i \ln(1+x_t) \right]. \quad (37)
 \end{aligned}$$

Здесь используются определение дилогарифма $\text{Li}(x) = -\int_0^1 dt \ln(1-xt)/t$, а также следующие обозначения:

$$v_m = v - m_f^2, \quad \beta_t = \sqrt{1 - \frac{4m_f^2}{t + i\epsilon}}, \quad x_t = \frac{\beta_t - 1}{\beta_t + 1}.$$

Параметр λ представляет собой инфитизимальную массу фотона, которая определяется чувствительностью детектора и сокращается после добавления к матричному элементу слагаемых, учитывающих низкоэнергетические (мягкие) фотоны. Величина $i\epsilon$ является мнимой величиной малого порядка, необходимой для вычисления интегралов, однако в описываемом методе она является несущественной и может быть положена равной нулю.

Получим явные выражения для “динамической” поляризуемости γ_0^{dyn} при помощи соотношений (13) и (28), (29) на основе методики раздела 3. Поскольку для получения инвариантных амплитуд, связанных с поляризуемостями, необходимо вычитание ее борновской части (см. (14)), то вклад в аналогичные структуры за счет электромагнитных взаимодействий будут давать только матричные элементы (31)–(36).

Для этого рассчитаем функцию $g(\nu)$ в явном виде, воспользовавшись выражениями (19), (17) и (28). После некоторых преобразований имеем, что

$$g(\nu) = \frac{\nu^3}{16\pi m_f} (\mathcal{M}_{3,\mathcal{L}} - \mathcal{M}_{1,\mathcal{L}}) . \quad (38)$$

Далее разлагая полученное выражение в ряд по ν (18) и выделяя слагаемое $\sim \nu^3$, находим спиновую квазистатическую поляризуемость γ_0 :

$$\gamma_0 = \frac{\alpha^2}{2\pi m_f^4} \left(\frac{37}{9} + \frac{20}{3} \ln 2 \right) + \frac{10}{3} \frac{\alpha^2}{\pi m_f^4} \ln \left(\frac{\nu}{m_f} \right) . \quad (39)$$

Разложение $g(\nu)$ вплоть до ν^5 позволяет найти величину $\bar{\gamma}_0$:

$$\bar{\gamma}_0 = -\frac{1856}{225\pi m_f^6} \alpha^2 - \frac{448}{15\pi m_f^6} \alpha^2 \ln \left(\frac{2\nu}{m_f} \right) . \quad (40)$$

На основе определения (22) и полученных соотношений (39)–(40) находим, что динамическая квазиполяризуемость $\gamma_0^{dyn}(\nu)$ имеет следующий вид:

$$\gamma_0^{dyn}(\nu) = -\alpha^2 \frac{925 m_f^2 + 3712 \nu^2}{450\pi m_f^6} - \alpha^2 \frac{2(25 m_f^2 + 224 \nu^2)}{15\pi m_f^6} \ln \left(\frac{2\nu}{m_f} \right) . \quad (41)$$

Как следует из полученных выражений, квазистатическая (γ_0) и динамическая (γ_0^{dyn}) поляризуемости, помимо постоянных членов, содержат и неаналитические слагаемые $\sim \ln \nu$, которые расходятся в томпсоновском пределе ($\nu \rightarrow 0$). Именно вышеуказанное свойство и послужило причиной того, что в работе [16] структуры подобного рода были названы квазистатическими поляризуемостями.

Таким образом, в силу того, что структуры (40), (41) аналогичны поляризуемостям и появляются за счет электромагнитных взаимодействий, имеет смысл говорить о них, как о неких “квазиполяризуемостях”, которые представляют собой электромагнитные поправки к поляризуемостям в общем случае.

Заключение

В работе изложена оригинальная методика извлечения инвариантных амплитуд путем сравнения общей и модельной АКР. В отличие от подходов, основанных на правилах сумм, данная методика не требует вычисления сечений рассеяния для КР и последующего интегрирования. В рамках предлагаемого авторами подхода достаточно получить АКР процесса, причем во многих случаях нет необходимости в нахождении всех возможных матричных элементов.

На основе разработанной методики получены выражения для квазистатических поляризуемостей γ_0 и $\gamma_0^{dyn}(\nu)$, которые представляют собой электромагнитные поправки к поляризуемостям в общем случае.

Данный подход открывает более широкие возможности для изучения внутренней структуры нуклонов и может быть применен в рамках различных квантово-полевых теорий и моделей.

Литература

1. Максименко, Н. В., Мороз Л. Г. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: общая и ядерная физика. — 1979. — № 4(10). — С. 26–27.
2. Левчук, М. И., Мороз Л. Г. // Весці АН БССР. Сер.фіз.-мат. наук. — 1985. — № 1. — С. 45–54.
3. Ragusa, S. // Phys. Rev. — 1993. — Vol. D47. — P. 3757–3767.
4. Ragusa, S. // Phys. Rev. — 1994. — Vol. D49. — P. 3157–3159.
5. Pasquini, B., Drechsel D., Vanderhaeghen M. // Phys.Rev. — 2007. — Vol. C76. — P. 015203.
6. Андреев, В. В. // Ядерная физика. — 2003. — Т. 66, № 2. — С. 410–420.
7. Андреев, В. В. // Гомель: УО “Гомельский государственный университет им.Ф. Скорины”, 2004. — 235 с.
8. Prange, R. E. // Phys. Rev. — Apr 1958. — Vol. 110, № 1. — P. 240–252.
9. Петрунькин, В. А. // ЭЧАЯ. — 1981. — Т. 12. — С. 692–753.
10. Drechsel, D., Pasquini B., Vanderhaeghen M. // Phys. Rept. — 2003. — Vol. 378. — P. 99–205.
11. Pasquini, B., Pedroni, P., Drechsel, D. // — 2010. - Mode of access: <http://arxiv.org/pdf/hep-ph/1001.4230v2> – Date of access: 15.05.2011
12. Baldin, A. // Nucl. Phys. — 1960. — Vol. C18. — P. 310–317.
13. Denner, A., Dittmaier S. // Nucl. Phys. — 1999. — Vol. B540. — P. 58–86.
14. Липидус, Л. И., Чжоу Г.-ж. // ЖЭТФ. — 1961. — Т. 41, № 1(7). — С. 294–302.
15. Denner, A. // Fortschr. Phys. — 1993. — Vol. 41. — P. 307–420.
16. Holstein, B. R., Pascalutsa V., M. Vanderhaeghen // Phys. Rev. — 2005. — Vol. D72, № 9. — P. 094014.
17. Llanta, E., Tarrach R. // Phys.Lett. — 1978. — Vol. B78. — P. 586.
18. Nakamura, K. et al. // Journal of Physics G. — 2010. — Vol. 37. — P. 075021.

Биология

УДК 305*605

Состояние, проблемы и задачи белорусского лесоустройства на современном этапе

В. Ф. БАГИНСКИЙ, Ф. Ф. БУРАК

Показано современное состояние лесоустройства в Беларуси и решаемые им задачи в нашей стране и в России. Предложено усовершенствовать деление лесов на группы и категории, повысить возраст рубки, ввести новую таксанометрическую единицу для проектирования хозяйственных мероприятий – хозяйственный выдел. Предложен ряд мер для закрепления на рынке лесоустроительных услуг в РФ.

Ключевые слова: Возраст рубки, выдел, лесоустройство, лесоводство, лесопользование, лесоинвентаризация, лесосека

The modern state of Belarusian forestry and the challenges it meets in our country and Russia are shown in the article. It is suggested to improve the forest division into groups and categories, to increase the cutting age, to introduce a new taxonomic unit for projecting economic measures – an economic allotment. A number of measures are suggested for consolidation at the Russian Federation forestry market.

Keywords: Cutting age, allotment, forest management, forestry, forest exploitation, forest inventory, (wood) cutting area

Введение

Белорусское лесоустройство в организационном плане представлено Республиканским лесоустроительным унитарным предприятием "Белгослес", которое подчинено Минлесхозу, и его дочерними предприятиями "Гомельлеспроект" и "Витебсклеспроект". "Белгослес" обеспечивает потребности всех организаций Беларуси, ведущих лесное хозяйство, в лесоустроительных работах.

Производственные возможности белорусского лесоустройства превышают потребности в его услугах на территории Беларуси. Поэтому "Белгослес" выполняет большой объем работ на территории России. Выход на рынок РФ обусловлен тем, что в настоящее время лесоустройство в России переживает не лучшие времена. Проблемы лесоустройства в РФ вынуждают лесоводов этой страны прибегать к услугам белорусского лесоустройства [1, 4, 8]. В белорусском лесном хозяйстве и лесоустройстве есть свои проблемы.

Правда, еще со времен СССР проблемы белорусского лесного хозяйства по сравнению с проблемами на Российском Севере, в Сибири, на Дальнем Востоке представлялись значительно меньшими. Вспоминается, как во время совещания по проблемам лесного хозяйства Дальнего Востока в г. Хабаровске в 1984 году при выступлении одного из авторов статьи о проблемах лесного хозяйства в БССР один из самых уважаемых наших ученых – профессор А. Г. Мошкалев – заметил: "Багинский, Ваши трудности в БССР по сравнению с российскими проблемами за Уралом можно охарактеризовать пословицей: "У каждого свои проблемы – у одного жемчужина маловата, у другого похлебка жидковата. "Ваши – это про жемчужину. " Ученый был прав, но пусть не столь тяжелые, но проблемы и трудности были и остаются и у нас. Поэтому обсуждение научной общественностью проблем и задач белорусского лесоустройства на современном этапе представляется актуальным.

Материалы и методика исследований

Материалом для наших исследований явились "Проекты организации и развития лесного хозяйства..." свыше 20 лесхозов, составленных за последние 10 лет специалистами "Белгослес". Проведен анализ работы в РФ предприятия "Гомельлеспроект" за последние 5 лет. Проанализированы такие основные положения действующей лесоустроительной инструкции [3] в сопоставлении с последними научными достижениями в данной области знаний [2, 5, 8–10].

Методика исследований состояла в системном подходе при обобщении материалов лесоустроительных проектов, литературных и открытых ведомственных источников с учетом современных требований экономики, экологии, лесоводства и лесоустройства [2, 6, 9, 10].

Результаты и обсуждения

После развала СССР в Беларуси не было потеряно управление лесами и лесным хозяйством. Все леса без исключения остались в государственной собственности. Правовые нормы по владению, распоряжению, управлению и пользованию лесами закреплены в Лесном кодексе, принятом в 2000 году. Впоследствии была его косметическая коррекция, связанная с изменением названий отдельных министров, ведомств и т. п.

В Беларуси сохранилась четкая вертикальная система управления лесами и лесным хозяйством: Министерство лесного хозяйства (МЛХ), областные лесохозяйственные объединения (ПЛХО), лесхозы с делением на лесничества и мастерские участки, лесная охрана, в т. ч. лесники. Все это позволило сохранить управляемость отрасли и ее четкую работу.

Перед лесным хозяйством ставятся большие и важные задачи, в том числе на самом высоком уровне – Президентом страны. В числе важнейших задач – повышение продуктивности лесов, улучшение их породной и возрастной структуры, воспроизводство, обеспечение потребностей народного хозяйства в древесине и других продуктах леса, увеличение экспорта, особенно за счет товаров, имеющих высокую добавленную стоимость и т. д. В числе представленных задач особое место занимает рациональное и полное использование топливного сырья, в т. ч. лесосечных отходов и отходов деревообработки для выработки 30% энергии в стране за счет местного топлива. Это нашло отражение в "Программе развития лесного хозяйства на 2011-2015 годы"? принятой Правительством.

Все работы в лесном хозяйстве проводятся с учетом экологического императива, т. е. строго соблюдаются принципы устойчивого развития. Здесь достаточно сказать, что лесхозы Беларуси сертифицированы по системе FSC и FESC, а национальная система лесной сертификации признана на международном уровне. Отрасль выполнила все задания, которые стояли перед ней на пятилетку 2006-2010 гг.? и успешно реализует задание новой пятилетки. При этом существенно улучшились показатели лесного фонда, повысилась доля земель, покрытых лесом, лесных культур и т. д.

Цель статьи и ее объем не позволяют подробно останавливаться на результатах работы отрасли. В целом они положительные, хотя, конечно, хватает и сложных проблем, но один характерный пример работы отрасли привести следует. Известно, насколько аномально засушливым был 2010 год. Про пожары в России сказано достаточно. Погодные условия в Беларуси были аналогичны, но в отличие от России у нас удалось удержать ситуацию под контролем. Возгорания были – менталитет наших народов РФ и Беларуси одинаков, и из-за человеческого фактора возникло почти 100 % лесных пожаров. Но сохранившееся система лесной охраны не позволила разгуляться стихии. Да, было около 600 возгораний, но общая площадь, пройденная пожарами, едва превысила 300 га. Для такого пожароопасного года, как 2010, это – великолепный результат. Про горящие дома и деревни, которых среди лесов у нас много, и речи не ведется.

В общей системе лесного хозяйства лесоустройству отводится важная роль. У лесоводов Беларуси есть осознание, что действующая система управления может работать, только опираясь на достоверную информационную базу. Такой информационной базой служит по-

выделный Банк данных с использованием ГИС-технологий. Банк данных регулярно обновляется при проведении один раз в 10 лет базового лесоустройства. К сожалению, практически прекратилось непрерывное лесоустройство, превратившись в простое внесение ежегодных текущих изменений по данным лесхозов.

Обеспечение всей перечисленной работы возложено на лесоустройство. В Беларуси в основном сохранилась советская система лесоустройства [2, 3]. Хотя по сравнению с советским периодом численность лесоустройства сократилась, но не очень значительно, составляя около 500 человек, в основном инженеров-таксаторов. "Белгослес" оснащен современным оборудованием, позволяющим принимать спутниковую информацию, разрабатывать и поддерживать ГИСы, где отражены все выдела в лесном фонде. В достаточном количестве имеются современные приборы, используемые при проведении натурной таксации, транспортные средства и т. д. В целом состояние лесоустройства, как и всего лесного хозяйства (по оснащению, кадрам и пр.), значительно лучше, чем 20 лет назад. В Беларуси сохранились основные принципы советского лесоустройства, особенно в части проведения лесоинвентаризации, обеспечения непрерывности, неистощительности и постоянства лесопользования, возрасты и обороты рубки и т. д. [2]. Введена в действие лесоустроительная инструкция, сохранившая все лучшее, но адаптированная к новым условиям [3].

Прочитав написанное, может сложиться впечатление, что в Беларуси в лесном хозяйстве и в лесоустройстве все хорошо, нет проблем и трудностей. Увы, это не так. Хватает и того, и другого. Проблемы и трудности вызваны в основном тем, что перед лесоустройством ставят новые задачи, требуется существенно повысить качество и эффективность его работы. Есть и проблемы, связанные с человеческим фактором и т. п. Изложение этих задач и проблем сделаем на примере "Гомельлеспроекта", который занимает лидирующие позиции в системе белорусского лесоустройства.

Численность "Гомельлеспроекта" составляет – 130 человек. Объем работ – 5,9 млрд. белорусских рублей. За последние 20 лет она увеличилась на 40 %. Материальная база хорошая: современное многоэтажное здание, полная обеспеченность приборами, компьютерами и оргтехникой. В числе наших работников – 80 % инженеров-таксаторов, выезжающих ежегодно на 5-6 месяцев и более на полевые работы.

В настоящее время значение лесоустройства существенно возрастает. Вызвано это рядом обстоятельств, главными из которых являются следующие: работники лесхозов и лесничеств, несмотря на их высокую квалификацию, заняты в основном вопросами охраны леса и организацией производства и управления предприятием с целью получения максимальной прибыли. В этом плане на первое место выходят проблемы повышения производительности труда, маркетинг т. п. Поэтому вопросы совершенствования научно-технической политики в лесовыращивании в широком смысле этого слова в лесхозах если и не снимаются с повестки дня, то отходят на второй план. Деятельность специалистов лесного хозяйства сегодня зарегулирована до такой степени, что творческие отступления от правил, инструкции и других нормативных документов исключаются.

Работник лесхоза и лесничества должен выучить все правила и не отступать от них ни на шаг, даже если последнее целесообразно. Существенный вклад в такое положение вещей внесли работники Комитета Государственного контроля. Наряду с большой полезной работой по выявлению преступных явлений и нарушений, вызванных безответственным, а иногда и безграмотным отношением к делу, чего к сожалению хватает, при проверках фиксируются многочисленные мелкие отступления от буквы правил. Часто эти отступления носят правомерный характер, иногда вынуждаются обстоятельствами экономического положения лесхоза и существенно не влияют на итоги лесовыращивания. Все это вынуждает специалистов лесхозов отказываться от любого творческого толкования складывающихся ситуаций при лесовыращивании и работать "от сих до сих".

Конечно, это общая схема, в жизни есть отступления, но генеральное направление именно такое. Перечисленные и иные причины, перечень которых можно опустить для сокращения, привели к тому, что основной возможностью проявить творческий подход в про-

изводственных условиях в лесном хозяйстве возможно при проведении лесоустройства. К тому же (это признают все лесоводы) в лесоустройстве сосредоточены наиболее квалифицированные кадры.

Основной задачей лесоустройства остается проведение базового лесоустройства в Республике Беларусь. Здесь требуется применение современных технологий и новых технических средств, постоянное укрепление материально-технической базы. Поскольку в литературе этот вопрос достаточно полно освещен ранее (применение ГИС-технологий, дистанционных методов и т. д.) здесь мы его опускаем для сокращения.

В то же время наше белорусское лесоустройство должно расширять перечень работ, выполняемых как в отрасли, так и вне ее, и не только в нашем государстве, а и в Российской Федерации, где мы работаем многие десятилетия. Особое внимание следует уделять сохранению и расширению наших интеллектуальных услуг на российском рынке, что полезно обоим государствам. Подтверждая этот тезис, отметим, что "Гомельлеспроект" в 2009 году около 50 % средств заработал по заказам от предприятий и организаций вне лесной отрасли. Это проекты благоустройства, парки, лесопарки и т. д. Заказы РФ принесли нам около 30 % всего объема реализации. Это позволило в кризисном 2009 году сохранить численность и повысить среднюю зарплату более чем на 10 %. Последняя составила свыше 500 \$ в эквиваленте.

То, что мы закрепились на российском рынке, определено несколькими причинами, а именно:

- высочайшим качеством работы. Здесь мы оказались на голову выше конкурентов, что давно признали в РФ;
- выполнение практически всего требуемого спектра услуг;
- наличием высококвалифицированных кадров, полностью обеспечивающих потребности натурной по выделке таксации;
- высокой обязательностью и относительно низкой стоимостью работ.

"Гомельлеспроект" работает по 22 технологическим направлениям, перечень которых постоянно пополняется. В их число помимо общепринятых входят: обновление банка данных «Лесной фонд РБ»; приемка и контроль материалов текущих изменений; авторский надзор; сбор экспериментальных материалов для разработки уточненных стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0, таблиц хода роста для древостоев основных лесобразующих пород, произрастающих в лесах Беларуси; опытно-производственная проверка, корректировка и дополнение базового варианта сортиментных таблиц для приспевающих и спелых древостоев; сбор и обобщение экспериментального материала для разработки сортиментных таблиц для деревьев, заготавливаемых при проведении РПП в соответствии с необходимостью дифференциации его по видовому составу, разрядам высот, уровням производительности и другим параметрам; инвентаризация древесно-кустарниковой растительности; проект по устройству экологической тропы; разработка сортиментных таблиц для материальной оценки древесины, заготавливаемой при проведении рубок промежуточного пользования; мониторинг состояния лесов; изготовление проектно-сметной документации по устройству существующего дендропарка; изготовление проектно-сметной документации на создание дендропарка; отвод и таксация лесосек; изготовление Проектов освоения лесов на основании БД; внесение изменений в Лесохозяйственные регламенты; лесопатологическое обследование арендуемого участка.

В то же время при работе в РФ возникает ряд сложных проблем. Они заключаются в том, что здесь мы трудимся в условиях очень жесткой конкуренции, которая со стороны российских ОАО и т. п. конкурентов бывает далеко не всегда добросовестной. Здесь, помимо вопросов, выходящих за рамки законности, что нам совершенно неприемлемо, а для отдельных наших конкурентов может быть использовано, возникают следующие трудности.

- Аукционы и тендеры на выполнение работ в пределах РФ предполагают внесение залоговых сумм. При этом все платежи необходимо производить до заключения контракта. Законодательством Беларуси данная процедура не предусматривается. Поэтому в большинстве аукционов и тендеров мы участвовать не можем.

- В документах на аукционы в последнее время появились условия по наличию следующих документов: лицензий на картографическую деятельность, выданную уполномоченным органом РФ; лицензий на геодезическую деятельность, выданную уполномоченным органом РФ; наличие сертификатов (ISO 9001-2008) по предмету аукциона. Решение данных задач предусматривает создание в РФ филиалов предприятий или совместных предприятий, чем мы планируем заняться в ближайшее время.
- Заказчики РФ требуют, чтобы обработка исходных данных и изготовление необходимых материалов и документов осуществлялась с использованием лицензионного (в РФ) программного обеспечения. Для выполнения данных условий необходимо уже сегодня доработка, разработка или покупка программного обеспечения по следующим направлениям: ландшафтно-рекреационное устройство лесов; устройство защитных насаждений; отвод лесосек (включая картографию и обмен с существующими базами данных); охотустройству; инвентаризации древесно-кустарниковой растительности; адаптация лесных карт для их "закачки" в современные электронные навигационные системы.

Все эти вопросы мы сегодня решаем, привлекая на этапе камеральных работ российских соисполнителей, что не всегда выгодно экономически и требует постоянного жесткого контроля объемов, сроков выполнения и качества работ. Поэтому в ближайшее время нам надо попытаться снять перечисленные проблемы.

Приведен лишь один пример возникающих проблем при работе в РФ и путей их решения. Так, в феврале 2009 года поступило задание на разработку "Лесного плана" по Смоленской области. Мы участвовали в тендере на его выполнение. В силу многих, в т. ч. вышеописанных, обстоятельств тендер мы проиграли. За разработку "Плана..." взялось ОАО "ГПС" из г. Саратова, не имевшее в своем составе профессиональных лесоустроителей. План они составили, деньги получили и ... разошлись. В Рослесхозе "План" был забракован как примитивно-непрофессиональный. Это следовало ожидать, но условия тендеров в РФ включают учет такой категории как квалификация кадров. Срок действия старого "Плана..." заканчивался 1 января 2010 года, а нового нет. Заставить переделать исполнителя возможности нет – "ищут пожарные, ищет милиция", как поется в популярной песне. Встала реальная угроза прекращения поставок древесины на крупные деревоперерабатывающие комбинаты – Гагаринский и Игоревский.

Для спасения ситуации руководство области обратилось в "Гомельлеспроект". Мы привлекли к этой работе более 30 наших лучших специалистов. Нам помогали ученые из ГГУ им. Скорины, Института леса НАН Беларуси. К середине декабря "План ..." был сделан, с блеском защищен, одобрен, признан образцом для других областей РФ и вошел в действие. При этом стоимость его разработки оказалась во много раз меньше выплат упомянутому ОАО.

Помимо чисто производственных проблем, нам необходимо решить ряд научных и научно-технических. Здесь наиболее важными вопросами являются следующие:

- совершенствование лесоустроительной инструкции. Не вдаваясь в детали, отметим, что в Беларуси надо вернуть понятие о хозчастях и хозсекциях, т. к. они в современной белорусской инструкции исключены, более детально дифференцировать нормативы точности таксации и т. д. Желательно вернуть непрерывное лесоустройство;
- следующей проблемой, стоящей перед лесоустройством, является изменение организационных основ ведения хозяйства. Требуется переделать существующую систему, т. е. необходимо выделение большого числа групп и уменьшение количества категорий лесов. Принятое в 1943 году деление на группы лесов для условий Беларуси устарело и требует замены. Это же касается и категории лесов. Особое внимание следует уделить особо защитным категориям лесов, т. к. многие функции, вызвавшие выделение этой категории уже исчезли или изменились, например, защита дорог от бомбежек;
- при пересмотре лесоустроительной инструкции необходимо совершенствование проектирования хозяйственных мероприятий за счет укрупнения первичной едини-

цы учета. Дело в том, что для повышения точности учета желателен однородный выдел, а это требует минимизации его размеров. Для проектирования хозяйственных мероприятий целесообразно организовать участки с такой максимальной площадью, где возможно проведение единых хозяйственных мероприятий, например, прореживаний. Это в перспективе даст экономическую отдачу. Здесь необходимо введение новой таксономичной единицы – хозяйственного выдела или участка. Подобные предложения были нами внесены уже давно, но не реализованы;

- при формировании хозяйственных выделов целесообразно начать работу по установлению границ этих выделов на постоянной основе. Такие технологии существуют в некоторых европейских странах. В свое время в Беларуси были затрачены огромные средства для создания почвенных карт по лесхозам. Будущие хозяйственные участки надо формировать с учетом этих карт. К сожалению, почвенные карты сегодня почти не используются;
- важной стороной работы лесоустройства является завершенная нами разработка новых безразрядных сортиментных таблиц, дифференцированных по видам рубок, (отдельно для главного и промежуточного пользования), которые повысят точность товаризации и денежной оценки лесосек как главного, так и промежуточного пользования;
- пересмотреть действующие в Беларуси правила по отводу и таксации лесосек и решить следующие задачи: определить точность таксации лесосек в зависимости от количества лесосек и объема древесины; сделать оценку сухостоя с учетом его состояния и временем вырубки; дифференцировать выход дровяной древесины с учетом ее потребителей (переработчики или население); пересмотреть технологии выборочных методов таксации лесосек, т. к. приведенные в "Правилах..." нормативы не обеспечивают нужную точность и необходимую достоверность;
- в настоящее время большие перспективы открываются у сельского и лесного туризма. Лесоустройство может здесь оказать неоценимую помощь, выявляя участки леса, имеющее историческое, культурное и научное значение.

Для практического воплощения поднятых проблем можно выделить ряд следующих первостепенных, подлежащих решению вопросов.

- Разработать программный комплекс, позволяющий вносить ежегодные текущие изменения (в т. ч. и работниками лесхозов) в состоянии лесного фонда лесхоза с использованием имеющихся повыдельных и картографических баз данных и с возможностью обмена информацией между этими базами.
- Пересмотреть лесоустроительные и лесохозяйственные нормативы, в т. ч. и лесоустроительную инструкцию и правила по отводу и таксации лесосек, обязывающие проводить большинство лесохозяйственных мероприятий без изменения границ существующих выделов и производить поэтапное закрепление границ выделов, при этом существенно повысить качество товаризации лесосек.
- Произвести постепенный переход на использование космической фотосъемки вместо авиационной при проведении полевых и камеральных лесоустроительных работ.
- Полностью унифицировать комплекс обязательных таблиц для проекта и разработать программы по их реализации. Разработать нормативные документы по порядку изготовления, обновления и использования электронных версий всех лесоустроительных документов, включая картографические.
- Осуществить постепенный переход к использованию в полевых условиях электронных навигационных систем для определения координат точек и последующего создания картографических материалов.
- Внедрить в полевое производство электронные папки таксатора.

Есть еще ряд проблем, стоящих перед лесоустройством, но названные являются главными, и их решение позволит существенно повысить эффективность работы отрасли.

Заключение

На основании изложено приходим к следующим выводам.

- Структура лесного хозяйства Беларуси обеспечивает управляемость и успешное функционирование отрасли.
- Лесоустройство в Беларуси обеспечивает решение задач, возлагаемых на него по обслуживанию потребностей лесного хозяйства страны, и выполняет большой объем работ в России, что является экспортом интеллектуального продукта.
- Для улучшения работы лесоустройства в течение ближайшей пятилетки желательно изменить деление лесов на группы и категории, повысить возраст рубки, разработать новую систему проектирования хозяйственных мероприятий, основанную на введении хозяйственного выдела, пересмотреть правила по отводу и таксации лесосек.
- Принять меры по закреплению на рынке РФ

Литература

1. Вацук, Л. Заметки к дискуссии о путях выхода лесоустройства из кризиса / Л. Вацук // Лесная таксация и лесоустройство. Международный научно-технический журнал. – Красноярск: СибГТУ. – 2010 – С. 94–102.
2. Ермаков, В. Е. Лесоустройство / В. Е. Ермаков. – Минск: 3 Вышэйшая школа. – 1993. – 259 с.
3. Инструкция по проведению лесоустройства Государственного фонда – Минск: Белгослес – 2002 – 88 с.
4. Писаренко, А. И. Почему нужно реформировать лесоустройство / А. И. Писаренко, В. В. Страхов // Лесная газета. 02. 02. 2010 г. – С. 2.
5. Писаренко, А. И. Как реформировать лесоустройство / А. И. Писаренко, В. В. Страхов // Лесная газета. – 06. 02. 2010г. – С. 3.
6. Проблемы лесоустройства и государственной инвентаризации лесов России. Материалы I международной конференции 3-4 февраля 2009г., Москва. – М.: Рослесхоз. – 2009 – 257 с.
7. Сухих, В. И., Трейфельд Р. Ф. Проблемы лесоправления и лесоустройства в современной России / В. И. Сухих, Р. Ф. Трейфельд // Лесное хозяйство. – 2002 – №5 – С. 31–34
8. Сухих, В. И. О реформировании лесоустройства / В. И. Сухих // Лесная таксация и лесоустройство. Международный научно-технический журнал. – Красноярск: СибГТУ – 2010 – С. 103–115.
9. Багинский, В. Ф. Особенности лесного хозяйства, как отрасли и совершенствование его структуры и функционирования / В. Ф. Багинский // Стратегия и тактика производственно-хозяйственных систем. Тезисы докладов международной научно-практической конференции – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2009. – ч. 1 – с. 7-12.
10. Багинский, В. Ф. Совершенствование лесоустроительного проектирования на современном этапе. / В. Ф. Багинский, Л. Н. Толкачев // Проблема лесоведения и лесоводства. Сборник научных трудов. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси. – 2005. – Вып. 64 – С. 307–314.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 04.05.11

Республиканское дочернее лесоустроительное
унитарное предприятие «Гомельлеспроект»

УДК 582.26/27:631.4:581.5 (476.2)

Использование методов почвенных и агаровых культур при изучении почвенных водорослей

Ю. М. БАЧУРА, О. М. ХРАМЧЕНКОВА

Представлены результаты изучения состава почвенных водорослей полигона твердых бытовых отходов с использованием двух методов. Методом почвенных культур выявлено 49 представителей почвенных водорослей, методом агаровых культур – 62 вида. Число общих видов составило 34. Сравнение результативности данных методов показало, что их совместное применение наиболее полно отражает видовой состав почвенных водорослей.

Ключевые слова: метод агаровых культур, метод почвенных культур, почвенные водоросли.

The results of studying of soil algae waste storage using two methods are represented in the article. The soil crop method has revealed 49 species of soil algae, the agar crop method – 62 species. The number of common species is 34. Comparing the results of these methods of cultivation shows that their joint application fully reflects the species composition of soil algae.

Key words: soil crop method, agar crop method, soil algae.

Введение

Среди культуральных методов, используемых в почвенно-альгологических исследованиях, достаточно широко распространены метод почвенных культур со стеклами обрастания и метод агаровых культур [1–3]. Почвенные культуры со стеклами обрастания используются для оценки видового состава водорослей, позволяя определить большинство представителей отделов *Cyanophyta*, *Bacillariophyta*, *Xanthophyta*, а также все гидрофильные водоросли. Преимущества данного метода заключаются в его простоте, максимальном приближении к природным условиям, скорости роста водорослей. Однако иногда при его использовании различные стадии одного и того же вида ошибочно идентифицируются как разные виды [3, 4]. На поверхности агаровых культур также быстро появляются массовые формы водорослей: хорошо разрастаются диатомовые, зеленые и синезеленые, в том числе и спорообразующие формы, медленно растущие на стеклах. Применение агаровых культур позволяет исследователю изучать изолированные колонии водорослей, которые возникают вокруг почвенных частиц и содержат различные стадии развития одного и того же вида [2, 4], что значительно повышает точность определения. Целью данной работы было сравнение результативности методов почвенных культур со стеклами обрастания и агаровых культур при изучении видового состава почвенных водорослей.

Материалы и методика исследований

Материалом для исследования послужили результаты обработки 20 усредненных образцов субстрата, отобранных в октябре 2010 года по общепринятой в почвенной альгологии методике [1, 5] на территории Гомельского городского полигона твердых бытовых отходов (располагается в трех с половиной километрах от города; занимаемая площадь – 12 га, масса отходов – около 5 млн тонн, высота отвалов – 22 м; в настоящее время на нем осуществляется прием коммунальных отходов от жилищного фонда и бюджетных организаций).

Культивирование водорослей осуществляли двумя ранее указанными методами. Для приготовления почвенных культур со стеклами обрастания (ПК) в чашки Петри помещали исследуемый субстрат, увлажняя его до 60-100 % от полной влагоемкости. На поверхность субстрата на 2-3 день раскладывали покровные стекла (до 5-6), слегка прижимая их до обра-

зования влажных камер. Наблюдения осуществляли через 2, 4 и 6 недель, учитывая последовательность появления водорослей на стеклах. При использовании агаровых культур (АК) небольшое количество субстрата высевали на 1,5 % агаризированную среду (основную среду Болда); развитие водорослей наблюдали через 3-6 недель. Культивирование водорослей проводили при постоянных условиях: температура 20 ± 3 °С, периодическое освещение с интенсивностью 1800-3000 лк с 14/10-часовым чередованием световой и темновой фаз [1, 3]. Идентификацию водорослей осуществляли с помощью микроскопа Nikon Eclipse 80i. По мере необходимости проводили цитохимические реакции: на крахмал – с реактивом Люголя, на выявление общих очертаний слизи – с 1 % раствором туши, на структуру слизи – с 0,1 % раствором метиленового синего. Состав жизненных форм определяли в соответствии с классификацией, разработанной Э. А. Штиной и М. М. Голлербахом [2, 6, 7].

Результаты исследований и их обсуждение

Ниже приведен список водорослей исследуемых субстратов с указанием методов, с помощью которых они были выявлены, и их жизненных форм (индексы жизненных форм указывают на источники литературы, согласно которым они приведены):

Отдел **CYANOPHYTA**

Класс **CYANOPHYCEAE**

ПОРЯДОК **CHROOCOCCALES**

Семейство **Synechococcaceae**

1. *Cyanothece* sp., Ch-форма₆ – ПК.

Дополнение к роду *Aphanocapsa*

2. *Microcystis (Aphanocapsa) pulvereae* (Wood) Forti in De Toni, C-форма_{6,7} – АК.
3. *Microcystis (Aphanocapsa)* sp., C-форма_{6,7} – АК, ПК.

ПОРЯДОК **OSCILLATORIALES**

Семейство **Borziaceae**

4. *Borzia* sp., P-форма_{6,7} – АК, ПК.

Семейство **Phormidiaceae**

5. *Phormidium autumnale* (Agardh) Gom., P-форма_{6,7} – АК, ПК.
6. *Phormidium* cf. *boryanum* Kütz., P-форма_{6,7} – ПК.
7. *Phormidium paulsenianum* B. Petersen, P-форма_{6,7} – ПК.
8. *Phormidium retzii* (Agardh) Gom., P-форма_{6,7} – АК.
9. *Phormidium tenue* (Agardh ex Gom.) Anagn. et Komárek (non. *Leptolyngbya tenuis* (Gom.) Anagn. et Komárek), P-форма_{6,7} – АК, ПК.
10. *Phormidium* sp., P-форма_{6,7} – АК, ПК.
11. *Microcoleus vaginatus* (Vauch.) Gom., M-форма₆ – ПК.

Семейство **Oscillatoriaceae**

12. *Oscillatoria* sp., P-форма_{6,7} – АК, ПК.
13. *Lyngbia* sp., P-форма₆ – АК.

ПОРЯДОК **NOSTOCALES**

Семейство **Nostocaceae**

14. *Nostoc linckia* (Roth) Born. et Flah., N-форма₇ (CF₆) – АК.
15. *Nostoc punctiforme* (Kütz.) Hariot, C-форма_{6,7} – АК, ПК.
16. *Nostoc* sp., C-форма_{6,7} – АК.

Дополнение к классу **Cyanophyceae: Leptolyngbyoideae**

17. *Leptolyngbya foveolarum* (Rabenh. ex Gom.) Anagn. et Komárek, P-форма₆ – АК, ПК.
18. *Leptolyngbya angustissima* (Gom.) Anagn. et Komárek, P-форма₆ – АК.
19. *Leptolyngbya molle* (Kütz.) Gom., P-форма – АК, ПК.

Отдел **EUSTIGMATOPHYTA**

Класс **EUSTIGMATOPHYCEAE**

ПОРЯДОК **EUSTIGMATALES**

Семейство **Eustigmataceae**20. *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibb., Ch-форма₆ – АК.21. *Vischeria stellata* (Chod. ex Poulton) Pasch., amph-форма₆ – АК.Отдел **XANTHOPHYTA**Класс **XANTHOPHYCEAE**

ПОРЯДОК BOTRYDIALES

Семейство **Botrydiopsidaceae**22. *Botrydiopsis* sp., X-форма₇ – АК, ПК.

ПОРЯДОК MISCHOCOCCALES

Семейство **Pleurochloridaceae**23. *Pleurochloris* sp., X-форма_{6,7} – АК, ПК.24. *Monodus cf. chodatii* Pasch., X-форма₆ – АК.25. *Monodus* sp., X-форма₆ – ПК.Семейство **Heterococcaceae**26. *Heterococcus* sp., H-форма₆ – АК, ПК.27. *Heteropedia* sp., H-форма₆ – АК.

ПОРЯДОК TRIBONEMATALES

Семейство **Centritractaceae**28. *Bumilleriopsis* sp., X-форма_{6,7} – АК.Семейство **Xanthonemataceae**29. *Xanthonema* sp., H-форма_{6,7} – АК, ПК.Семейство **Tribonemataceae**30. *Tribonema* sp., H-форма_{6,7} – АК, ПК.Отдел **BACILLARIOPHYTA**Класс **BACILLARIOPHYCEAE**

ПОРЯДОК NAVICULALES

Семейство **Diadesmidaceae**31. *Luticola mutica* (Kütz.) Mann in Round et al., B-форма_{6,7} – АК, ПК.32. *Luticola nivalis* Mann in Round et al., B-форма_{6,7} – ПК.33. *Caloneis* sp., B-форма₆ – АК.Семейство **Naviculaceae**34. *Navicula atomus* (Kütz.) Grun., B-форма_{6,7} – АК, ПК.35. *Navicula pelliculosa* (Breb.) Hilse, B-форма_{6,7} – АК, ПК.36. *Navicula* sp., B-форма₆ – АК.Семейство **Stauroneidaceae**37. *Stauroneis* sp., B-форма₆ – ПК.

ПОРЯДОК BACILLARIALES

Семейство **Bacillariaceae**38. *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun. In Cleve et Grun., B-форма_{6,7} – АК, ПК.Отдел **CHLOROPHYTA**Класс **CHLOROPHYCEAE**

ПОРЯДОК VOLVOCALES

Семейство **Chlamydomonadaceae**39. *Chlamydomonas gelatinosa* Korsch. in Pasch., C-форма_{6,7} – АК.40. *Chlamydomonas* sp.1, C-форма_{6,7} – АК, ПК.41. *Chlamydomonas* sp.2, C-форма_{6,7} – АК, ПК.

ПОРЯДОК CHLOROCOCCALES

Семейство **Chlorococcaceae**42. *Chlorococcum* sp., Ch-форма_{6,7} – АК, ПК.43. *Tetracystis aggregata* Broun et Bold, Ch-форма₇ (X₆) – АК.44. *Tetracystis* sp., Ch-форма₇ (X₆) – АК, ПК.

Семейство **Actinochloridaceae**

45. *Macrochloris* sp., Ch-форма_{6,7} – АК, ПК.

ПОРЯДОК PROTOSIPHONALES

Семейство **Chlorosarcinaceae**

46. *Chlorosarcinopsis* sp.1, Ch-форма_{6,7} – АК, ПК.
 47. *Chlorosarcinopsis* sp.2, Ch-форма_{6,7} – АК, ПК.
 48. *Neochlorosarcina* sp., Ch-форма – АК.
 49. *Desmotetra stigmatica* Deason et Floyd, C-форма – АК.
 50. *Desmotetra* sp., C-форма – ПК.

Семейство **Neospongiococcaceae**

51. *Neospongiococcum* Deason, Ch-форма_{6,7} – АК.

ПОРЯДОК SCENEDESMALES

Семейство **Bracteacoccaceae**

52. *Bracteacoccus* sp., Ch-форма_{6,7} – АК, ПК.
 53. *Dictiococcus varians* Gern. emend. Starr, Ch-форма₆ – АК, ПК.
 54. *Dictiochloris* sp., Ch-форма – ПК.

Семейство **Neochloridaceae**

55. *Neochloris* sp., Ch-форма – АК.

Семейство **Oocystaceae**

56. *Scotiellopsis rubescens* Vinatz., X-форма₆ – АК.
 57. *Scotiellopsis* sp., X-форма₆ – АК, ПК.

Семейство **Scenedesmaceae**

58. *Scenedecmus abundans* (Kirchner) Chod. (syn. *Chlorella fusca* Shihira et Kraus var. *fusca*), X-форма₆ – АК.
 59. *Scenedecmus cf soli* Hortobagyi, X-форма – АК.

Класс **TREBOUXIOPHYCEAE**

ПОРЯДОК MICROTHAMNIALES

Семейство **Parietochloridaceae**

60. *Parietochloris bilobata* (Vinatz.) Andreeva, Ch-форма – АК.

Семейство **Leptosiraceae**

61. *Leptosira* sp., amph-форма₆ – ПК.

ПОРЯДОК TREBOUXIALES

Семейство **Myrmeciaceae**

62. *Myrmecia* sp., Ch-форма₇ (X₆) – АК.

ПОРЯДОК CHLORELLALES

Семейство **Chlorellaceae**

63. *Chlorella minutissima* Fott et Nováková, Ch-форма_{6,7} – АК, ПК.
 64. *Chlorella vulgaris* Beijir., Ch-форма_{6,7} – АК, ПК.
 65. *Chlorella ellipsoidea* Gern., Ch-форма₇ – ПК.
 66. *Chlorella* sp., Ch-форма_{6,7} – АК, ПК.

Семейство **Stichococcaceae**

67. *Stichococcus bacillaris* Näg., H-форма₇ (X₆) – АК.
 68. *Stichococcus* sp., H-форма₇ (X₆) – АК.
 69. *Gloeotila* sp., H-форма₆ – АК, ПК.

Дополнение к порядку **Choricystidales: Radiococcaceae**

70. *Coccomyxa* sp., Ch-форма₆ – ПК.

Класс **ULVOPHYCEAE**

ПОРЯДОК CHAETOPELTIDALES

Дополнение к семейству **Hormotiellopsidaceae**

71. *Fernandinella alpina* Chod., X-форма₆ – ПК.

ПОРЯДОК CODIOLALES

Семейство **Ulotrichaceae**72. *Ulothrix variabilis* Kütz., Н-форма_{6,7} – ПК.Класс **CHAROPHYCEAE**

ПОРЯДОК KLEBSORMIDIALES

Семейство **Klebsormidiaceae**73. *Klebsormidium flaccidum* (Kütz.) Silva et al., Н-форма_{6,7} – АК, ПК.74. *Klebsormium pseudostichococcus* (Heering) Péterfi L. et al., Н-форма_{6,7} – АК.

ПОРЯДОК ZYGNEATALES

Семейство **Mougeotiaceae**75. *Mesotaenium macrococcum* (Kütz.) Roy et Bissett, amph-форма₆ – АК.

ПОРЯДОК DESMIDIALES

Семейство **Desmidiaceae**76. *Cosmarium* sp., hydr-форма – ПК.Дополнение к отделу **Chlorophyta**77. *Characium* sp., X-форма₆ – АК, ПК.

Таким образом, на исследуемых субстратах были выявлены почвенные водоросли пяти отделов: Cyanophyta – 19 представителей (24,7 %), Eustigmatophyta – 2 (2,6 %), Xanthophyta – 9 (11,7 %), Bacillariophyta 8 (10,4 %) и Chlorophyta – 39 представителей (50,6 %).

Зеленые водоросли включали представителей из 26 родов, относящихся к 18 семействам, 12 порядкам классов Chlorophyceae (53,8 %), Trebouxiophyceae (28,2 %), Ulvophyceae (5,13 %) и Charophyceae (10,3 %), а также один род с неясным систематическим положением (*Characium* sp.). Наиболее широко были представлены порядки Scenedesmales и Chlorellales (8 и 7 видов соответственно). Следует отметить, что все водоросли семейства Chlorellales относились к роду *Chlorella*. Выявленные синезеленые водоросли были представлены 9 родами, 5 семействами, 3 порядками класса Cyanophyceae; наибольшим видовым разнообразием отличался порядок Oscillatoriales (10 представителей); максимальное число видов насчитывал род *Phormidium* (6). Практически все желтозеленые водоросли (8 из 9) были идентифицированы до рода; они являлись представителями 6 семейств, 3 порядков класса Xanthophyceae. Водоросли отдела Bacillariophyta включали виды, относящиеся к 5 родам, 4 семействам, 2 порядкам класса Bacillariophyceae. Наименее представленным оказался отдел эустигматофитовые водоросли – 2 вида.

Большинство обнаруженных представителей – эдафотрофные водоросли (94,8 %). Участие амфибиальных (amph) и гидрофильных (hydr) водорослей в формировании альгогруппировок исследуемых субстратов незначительно (3,9 % и 1,3 %, соответственно).

Среди эдафотрофных водорослей доминирующее положение занимали представители Ch-жизненной формы – 21 вид (27,3 %). Это одноклеточные и колониальные зеленые и желтозеленые водоросли, обитающие в толще почвы, при благоприятной влажности – и на поверхности почвы; отличаются исключительной выносливостью к колебаниям pH, влажности, засоленности; их обычно обозначают как убиквисты [2, 5]. Далее по убывающей расположились водоросли Р-, Х-, Н-, С- и В-жизненных форм. Доля водорослей Р-жизненной формы (нитевидные синезеленые, устойчивы против засухи, тяготеют к голым участкам минеральной почвы, занимают пространства между растениями) составила 15,5 %. Несколько меньшим было участие в составе альгогруппировок водорослей, отличающихся неустойчивостью против засухи и экстремальных температур: одноклеточных желтозеленых и зеленых Х-формы (14,3 %) и нитевидных зеленых и желтозеленых Н-формы (13,0 %); а также С-формы (11,7 %), представленной одноклеточными, колониальными или нитчатыми формами, которые способны образовывать обильную слизь, высыхание переносят в виде спор, зигот, реже в вегетативном состоянии, но тогда слизь отличается большой водоудерживающей способностью [4]. Водоросли В-жизненной формы (холодостойки, светолюбивы, многие солевыносливы, но неустойчивы против высыхания, предпочитают нейтральную и щелочную среду) были представлены 8 видами (10,4 %). Единично встречались виды, относящиеся к М- и N-формам.

С помощью метода почвенных культур со стеклами обрастания было выявлено 49 представителей почвенных водорослей, принадлежащих к 37 родам, 26 семействам, 18 порядкам, 7 классам отделов Cyanophyta, Xanthophyta, Bacillariophyta и Chlorophyta. Метод агаровых культур позволил обнаружить 62 вида водорослей, относящихся к 42 родам, 30 семействам, 18 порядкам, 7 классам отделов Cyanophyta, Eustigmatophyta, Xanthophyta, Bacillariophyta и Chlorophyta.

Сопоставление состава водорослей, выявленных с помощью данных методов, по отделам представлено на рисунке 1. Согласно полученным результатам, метод агаровых культур позволил выявить большее количество видов синезеленых, желтозеленых и зеленых почвенных водорослей; а также представителей эустигматофитовых водорослей – *Eustigmatos magnus*, *Vischeria stellata* – не обнаруженных методом почвенных культур.

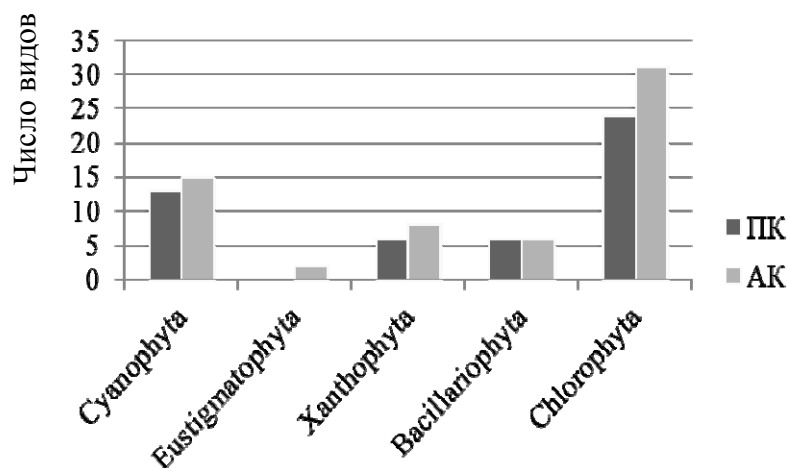


Рисунок 1 – Сравнение результативности метода почвенных культур со стеклами обрастания и метода агаровых культур

По литературным данным [3], в большинстве случаев, метод почвенных культур несколько результативнее метода агаровых культур. Однако в данной ситуации следует учитывать специфику исследуемого субстрата – полигона твердых бытовых отходов, характеризующегося высокой степенью загрязнения. Это обуславливает преимущественное развитие устойчивых к негативным воздействиям видов из отделов Cyanophyta и Chlorophyta, которые активнее вегетируют в агаровых культурах.

Сравнение обнаруженных водорослей по спектру жизненных форм приведено на рисунке 2.

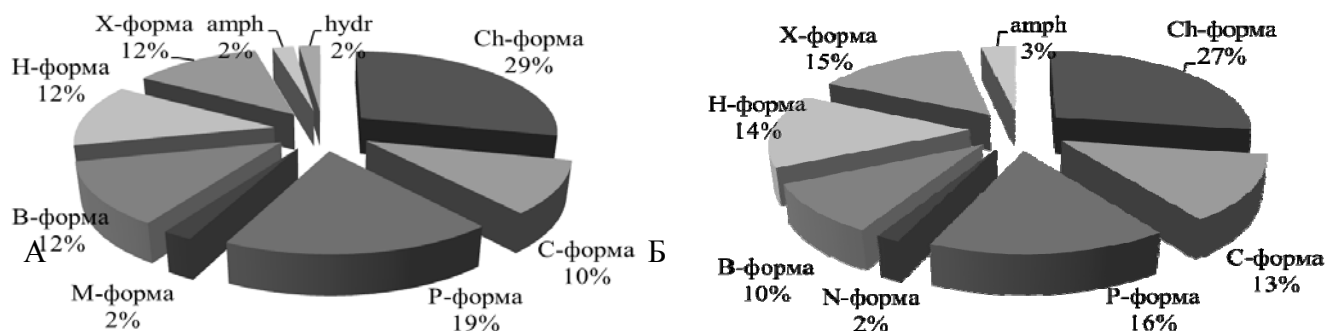


Рисунок 2 – Соотношение экологических групп и жизненных форм выявленных водорослей: А – ПК, Б – АК

При использовании обоих методов сохранилась приведенная выше тенденция доминирования водорослей Ch-жизненной формы. Метод агаровых культур позволил получить

более полное представление о водорослях X-, H- и C-форм. Особой приуроченности какой-либо жизненной формы к одному из методов не установлено.

Число общих видов, обнаруженных обоими методами, составило 34: синезеленых – 9, желтозеленых – 5, диатомовых – 4, зеленых – 16.

Заключение

На исследуемых субстратах было обнаружено 77 видов почвенных водорослей, относящихся к 50 родам, 34 семействам, 21 порядку, 8 классам 5 отделов. Большинство из них – эдафотрофные водоросли (94,8 %). Среди эдафотрофных водорослей доминирующее положение занимали представители Ch-жизненной формы – 21 вид (27,3 %).

Методом почвенных культур со стеклами обрастания было выявлено 49 представителей почвенных водорослей, принадлежащих к 4 отделам, методом агаровых культур – 62 вида водорослей из 5 отделов. Метод агаровых культур позволил выявить большее количество видов синезеленых, желтозеленых и зеленых почвенных водорослей; а также представителей эустигматофитовых водорослей – *Eustigmatos magnus*, *Vischeria stellata* – не обнаруженных методом почвенных культур.

Сравнение результативности данных методов культивирования почвенных водорослей – почвенных культур со стеклами обрастания и агаровых культур – показало, что совместное применение этих методов наиболее полно отражает видовой состав почвенных водорослей, позволяя обнаружить как виды, представленные активными стадиями, так и виды, сохраняющиеся в почве в покоящемся состоянии – в форме спор или цист.

Сочетание различных методов при качественном анализе альгофлоры обусловлено необходимостью более точного и полного выявления видового спектра изучаемых сообществ почвенных водорослей.

Литература

1. Голлербах, М. М. Почвенные водоросли / М. М. Голлербах, Э.А. Штина. – М.: Наука, 1969. – 228 с.
2. Штина, Э.А. Экология почвенных водорослей / Э.А. Штина, М.М. Голлербах. – М.: Наука, 1976. – 143 с.
3. Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори) / І.Ю. Костіков [та інш.]. – Київ: Фітосоціоцентр, 2001. – 300 с.
4. Зенова, Г.М. Почвенные водоросли / Г.М. Зенова, Э.А. Штина. – М.: МГУ, 1990. – 80 с.
5. Кабиров, Р.Р. Выделение почвенных альгоценозов методом Браун-Бланке / Р.Р. Кабиров, Н.В. Суханова, Л.С. Хайбуллина; Башк. гос. пед. ин-т. – Уфа, 1999. – 35 с. – Деп. в ВИНТИ 31.03.99, № 1014-B99
6. Алексахина, Т.И. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов / Т.И. Алексахина, Э.А. Штина. – М.: Наука, 1984. – 98 с.
7. Трухницкая, С.М. Альгофлора рекреационных территорий Красноярской урбоэкосистемы / С.М. Трухницкая, М.В. Чижевская. – Красноярск: КрасГАУ, 2008. – 134 с.

УДК 546.56+546.74+546.73:631.41

Влияние тяжелых металлов на состояние почвенного покрова промышленных зон г. Гомеля

Н. И. Дроздова, Т. Ю. Мельник, В. Г. Свириденко, А. В. Хаданович

Для дерново-подзолистых легкосуглинистых почв, отобранных в районе промышленной зоны завода «Центролит» определены основные агрохимические показатели, содержание подвижных форм Cu, Zn, Pb и Cd; активность почвенной инвертазы, уреазы и протеазы. Корреляционный анализ указывает на тесную достоверную связь между содержанием подвижных форм тяжелых металлов и гумусом, суммой поглощенных оснований, концентрацией тяжелых металлов и активностью ферментов. Изученные токсиканты в разной степени угнетали ферментативную активность почв, наибольшей чувствительностью по отношению к загрязнению отличалась уреазная активность почв, меньшей – активность инвертазы и протеазы. Значения активности инвертазы указывают, что почва анализируемых участков находится в нарушенном состоянии.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, тяжелые металлы, медь, цинк, свинец, кадмий, ферментативная активность, уреазы, протеазы, инвертаза.

For sod-podzol loamy soils selected close to the industrial estate of “Tsentrolit” plant, the main agrochemical readings, slip forms Cu, Zn, Pb and Cd content; as well as soil invertase, urease and protease activity have been identified. Correlated analysis denotes close reliable relationship between heavy metal slip form content and humus, bases absorbed, heavy metal concentration and enzyme activity. The toxicants researched depressed the enzymatic activity of the soils to some extent and urease soil activity being of the greatest apprehensibility towards pollution at that. As for the invertase and protease activity the apprehensibility was the least. Invertase activity data denote soil broken state of plots explored.

Keywords: sod-podzol soil, heavy metals, copper, zinc, lead, cadmium, enzyme activity, urease, protease, invertase.

Введение

В результате производственно-хозяйственной деятельности во многих промышленных зонах крупных городов сложилась неблагоприятная экологическая обстановка. Наиболее объективная информация, позволяющая оценить состояние окружающей среды, выявить очаги, источники и компоненты техногенного загрязнения природных сред, может быть получена в результате проведения комплекса эколого-химических исследований.

Природные среды по реакции на поступающие в них поллютанты техногенного загрязнения можно разделить на две группы: миграционную и депонирующую, в которой загрязнители накапливаются. Миграционная группа включает поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух. В депонирующую группу входят почвы, снеговой покров, донные отложения водотоков и водоемов, растения. Долговременный контроль экологического состояния территорий и природных комплексов проводят двумя основными способами: путем постоянных наблюдений на сети стационарных пунктов мониторинга, что наиболее рационально использовать при контроле загрязнения динамических сред; а также путем периодического картографирования геохимических параметров техногенного загрязнения на всей контролируемой территории, что эффективно при изучении депонирующих сред.

Химический состав городских почв и грунтов формируется как за счет почвообразующих пород, так и за счет продуктов антропогенеза, которые приносятся в них преимущественно атмосферными выпадениями. Оценка экологической обстановки территорий основывается зачастую лишь на геохимических параметрах техногенного загрязнения почв с использованием разработанных критериев и нормативов ПДК без учета влияния их на биоактивность и продуктивность почвенно-растительного покрова.

Ферментативная активность почвенного покрова является чувствительным индикатором, реагирующим на возникновение в почве стрессовой ситуации, так как изменяется она раньше других почвенных характеристик, в том числе, агрохимических и геохимических.

Ферменты играют важную роль в мобилизации элементов питания растений, а также обуславливают интенсивность и направленность наиболее важных биохимических процессов, связанных с синтезом и распадом гумуса, гидролизом органических соединений и окислительно-восстановительным режимом почвы. Почвенные ферменты участвуют в распаде растительных, животных и микробных остатков. Состояние ферментов в почве и их роль в почвообразовании определяется экологическими условиями. Имеется прямая связь ферментативной активности с факторами почвообразования. Она свидетельствует об интенсивности и направленности почвообразовательных процессов, изменении характеристик почв в результате естественных и антропогенных факторов [1–3].

В настоящее время особую актуальность представляет разработка диагностических критериев с использованием ферментативной активности как индикатора состояния почвенной компоненты.

Целью работы явилось изучение влияния тяжелых металлов на состояние почвенного покрова промышленной зоны г. Гомеля

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили образцы дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, отобранные в районе промышленной зоны завода «Центролит» г. Гомеля. Пробные площадки располагались на удалении 50 м от территории завода с южной и восточной стороны (далее пробные площадки 1 и 2 соответственно). Отбор проб почвы проводился послойно на глубине 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-15 и 15-20 см по стандартным методикам [4, 5]. Анализировалась также объединенная проба 0-20 см.

В отобранных образцах определены следующие показатели: актуальная и потенциальная кислотность, сумма поглощенных оснований по Каппену, содержание гумуса по методу Тюрина, концентрация подвижных форм тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd) методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией. Активность уреазы и протеазы определялась колориметрическим методом, инвертазы – по методу А. И. Чундеровой.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты агрохимического анализа почвенных образцов.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

Глубина слоя	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Содержание гумуса, %	Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100г почвы
Пробная площадка 1				
0-2,5	7,11±0,28	6,82±0,20	3,53±0,44	14,08±1,13
2,5-5	7,04±0,21	6,76±0,19	2,88±0,25	13,23±1,05
5-10	7,01±0,14	6,71±0,24	1,35±0,15	11,04±1,02
10-15	6,94±0,20	6,68±0,19	0,41±0,04	7,67±0,71
15-20	6,85±0,13	6,65±0,18	0,40±0,03	4,95±0,39
Объединенная проба 0-20 см	6,94±0,17	6,70±0,21	2,59±0,18	9,97±0,94
Пробная площадка 2				
0-2,5	7,18±0,23	6,94±0,18	4,93±0,25	16,31±1,58
2,5-5	7,17±0,21	6,81±0,17	3,55±0,13	15,65±1,48
5-10	6,97±0,19	6,76±0,22	2,02±0,12	13,12±1,16

Окончание таблицы 1

10-15	6,89±0,27	6,74±0,16	0,38±0,04	9,34±0,89
15-20	6,86±0,18	6,72±0,15	0,31±0,01	5,48±0,41
Объединенная проба 0-20 см	7,16±0,26	6,81±0,18	2,69±0,12	11,06±0,98

Кислотность солевой вытяжки по двум пробным площадкам составила в усредненном образце 6,70 – 6,81, при этом отмечалось незначительное снижение кислотности образцов в зависимости от глубины отбора пробы. Среднее содержание гумуса позволяет характеризовать данную почву как бедную с низким содержанием гумуса. Среднее содержание гумуса составило около 2,6 %. При этом содержание гумуса сильно варьируется (от 0,31 % до 4,93 %) в зависимости от глубины взятия пробы. Сумма поглощенных (обменных) оснований – количество поглощенных почвой катионов (за исключением H^+), способных к обмену. По К. К. Гедройцу, дерново-подзолистые почвы относятся к ненасыщенным основаниями. Исследованные образцы почвы характеризуются довольно низкими значениями суммы поглощенных оснований (средние значения около 10 мг-экв/100г почвы), которые колебались от 4,95 до 16,31 мг-экв/100г почвы, в зависимости от глубины взятия пробы и расположения пробной площадки.

Таким образом, исходя из сложившихся почвенных условий, можно предполагать, что максимальное накопление поллютантов будет наблюдаться в верхних почвенных слоях (0-10 см), характеризующихся более высоким содержанием гумуса и сумма обменных оснований.

Таблица 2

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвенных образцах (мг/кг)

Глубина слоя	Cu	Zn	Pb	Cd
Пробная площадка 1				
0-2,5	53,11	64,05	6,48	0,14
2,5-5	47,80	55,68	4,14	0,111
5-10	30,89	25,56	1,76	0,089
10-15	14,57	9,61	0,86	0,074
15-20	7,01	5,34	0,77	0,066
Объединенная проба 0-20 см	35,78	39,5	4,26	0,106
Пробная площадка 2				
0-2,5	33,43	34,27	3,89	0,091
2,5-5	30,50	28,43	2,44	0,083
5-10	10,99	6,74	1,44	0,068
10-15	7,66	5,11	0,86	0,054
15-20	2,49	1,66	0,50	0,032
Объединенная проба 0-20 см	16,94	15,79	4,08	0,071

По результатам количественного определения содержания подвижных форм ТМ в образцах почвы, отобранных на пробной площадке 1 (таблица 2), отмечено, что содержание подвижных форм меди в объединенной пробе более чем в 10 раз превышает значение предельно допустимой концентрации ($ПДК_{подв.форм} = 3$ мг/кг), цинка – более чем в 1,5 раза ($ПДК_{подв.форм} = 23$ мг/кг), содержание свинца и кадмия находится в пределах допустимых концентраций. Содержание подвижных форм ТМ постепенно убывает по профилю. Максимум приходится на верхние слои почвы (0-10 см): Cu – 53,11 мг/кг; Zn – 64,05 мг/кг; Pb – 6,48 мг/кг; Cd – 0,14 мг/кг и значительно меньшее содержание в нижних слоях (10-20 см) Cu – 7,01; Zn – 5,34; Pb – 0,77; Cd – 0,066 мг/кг.

В образцах, отобранных на пробной площадке 2, также наблюдается тенденция к уменьшению содержания подвижных форм ТМ по профилю. В верхнем слое содержание

подвижных форм Cu – 33,43 мг/кг; Zn – 34,27 мг/кг; Pb – 3,89 мг/кг; Cd – 0,091 мг/кг, в нижних – 2,49; 1,66; 0,50; 0,032 мг/кг, соответственно. Значения содержания подвижных форм меди и цинка в верхних слоях превышает ПДК в 3-10 раз, в 1,2-1,3 раза соответственно.

Сопоставление данных по содержанию тяжелых металлов на двух пробных площадях показывает, что содержание поллютантов в образцах, отобранных на пробной площадке 2 примерно в 2 раза меньше, чем в образцах, отобранных на пробной площадке 1, что может быть связано как с направлением розы ветров, так и дополнительным источником загрязнения почвы – наличием более оживленной автотрассы.

Для изучения техногенного влияния на биологическую активность почв нами была определена гидролазная активность почв. В качестве индикаторных ферментов были выбраны рекомендуемые в литературе для данного типа почв ферменты класса гидролаз: инвертаза, уреазы, протеазы.

По результатам исследования инвертазной, уреазной и протеазной активностей отобранных образцов прослеживается тенденция к послойному их снижению (таблица 3). Активность инвертазы колеблется от 7,15 до 5,40 мг глюкозы на 1 г почвы за 48 ч, активность уреазы – от 2,13 до 1,86 мг NH₃ на 10 г почвы за сутки, активность протеазы – от 5,84 до 5,47 мг глицина на 10 г почвы за сутки.

Таблица 3

Ферментативная активность образцов почвы, отобранных на пробной площадке 1

Глубина слоя	Активность инвертазы, мг глюкозы на 1 г почвы за 48 ч	Активность уреазы, мг NH ₃ на 10 г почвы за сутки	Активность протеазы, мг глицина на 10 г почвы за сутки
0-2,5	7,15±0,31	2,13±0,09	5,84±0,23
2,5-5	7,02±0,28	2,04±0,08	5,80±0,21
5-10	6,85±0,30	2,01±0,01	5,69±0,26
10-15	6,06±0,24	1,98±0,07	5,66±0,22
15-20	5,40±0,26	1,86±0,09	5,47±0,19
Объединенная проба	6,26±0,25	2,02±0,01	5,72±0,23

На основании полученных данных можно отметить, что ферментативная активность почв, отобранных на пробной площадке 2, также послойно убывает: инвертазная активность с 7,58 до 5,51 мг глюкозы на 1 г почвы за 48 ч, уреазная активность с 2,46 мг NH₃ на 10 г почвы за сутки до 2,05, протеазная активность с 6,17 до 5,72 мг глицина на 10 г почвы за сутки (таблица 4). В целом ферментативная активность почв двух пробных площадок отличается незначительно.

Таблица 4

Ферментативная активность образцов почвы, отобранных на пробной площадке 2

Глубина слоя	Активность инвертазы, мг глюкозы на 1 г почвы за 48 ч	Активность уреазы, мг NH ₃ на 10 г почвы за сутки	Активность протеазы, мг глицина на 10 г почвы за сутки
0-2,5	7,58±0,39	2,46±0,12	6,17±0,25
2,5-5	7,37±0,31	2,37±0,11	6,04±0,24
5-10	7,0±0,29	2,22±0,13	5,91±0,22
10-15	6,23±0,32	2,14±0,09	5,80±0,20
15-20	5,51±0,25	2,05±0,08	5,72±0,21
Объединенная проба	6,58±0,34	2,25±0,12	5,89±0,23

Полученные значения инвертазной активности в пределах 5,5 – 7,5 мг глюкозы на 1 г почвы за 48 ч характеризуют исследуемую почву как находящуюся в нарушенном состоянии систему. Экспериментально установленная активность почвенной уреазы имеет очень низ-

кий уровень значений ($1,8 - 2,5$ мг NH_3 на 10 г почвы за сутки) и характеризует почву как находящуюся в критическом состоянии систему. Уреазная активность является показателем неблагоприятного состояния азотного фонда почвы, так как данный фермент катализирует гидролиз мочевины [6].

Активность протеазы характеризуется средними значениями, что говорит о нормальном функционировании фермента в создавшихся почвенных условиях.

По результатам исследований были рассчитаны коэффициенты парной корреляции между исследуемыми параметрами (обработка данных произведена программой Microsoft Office Excel 2003). Изученные тяжелые металлы (медь, цинк, свинец и кадмий) в разной степени угнетали ферментативную активность почв, наибольшей чувствительностью по отношению к суммарному загрязнению отличалась уреазная активность почв, меньшей – активность инвертазы и протеазы. Полученные данные могут быть использованы при дальнейшем изучении изменения биологической активности почв, подверженных техногенному загрязнению.

Заключение

В ходе проведенного анализа дерново-подзолистых легкосуглинистых почв, отобранных в районе промышленной зоны завода «Центролит», были определены основные агрохимические показатели, такие как общее содержание гумуса в исследуемых пробах, кислотность почв (актуальная, потенциальная), сумма поглощенных оснований; содержание подвижных форм Cu, Zn, Pb и Cd; активность инвертазы, уреазы и протеазы. Данные агрохимического анализа указывают на низкое среднее содержание гумуса, нейтральную реакцию среды и низкую поглотительную способность почвы. Наиболее благоприятные условия для аккумуляции металлов возникают в слое 0-10 см. Содержание подвижных форм меди и цинка в исследуемых образцах превышает значения ПДК в 3-10 раз и 1,5 – 2 раза соответственно, свинца и кадмия – находится в пределах допустимых концентраций.

Проведенный корреляционный анализ указывает на тесную достоверную связь в парах концентрация ТМ /гумус ($r = 0,9$), концентрация ТМ / сумма поглощенных оснований ($r = 0,7 - 0,9$).

Определение ферментативной активности почвы является наиболее перспективным методом индикации загрязнения почвы тяжелыми металлами, т.к. активность ферментов является сравнительно более устойчивым и чувствительным показателем биогенности почв. Активность инвертазы ниже среднего значения для данного типа почв, что указывает на то, что исследованная почва находится в нарушенном состоянии. Низкий уровень уреазной активности является показателем неблагоприятного состояния азотного фонда почвы. Значения, полученные по активности протеазы являются средними, что говорит о нормальном функционировании этого фермента. Изученные тяжелые металлы (медь, цинк, свинец и кадмий) в разной степени угнетали ферментативную активность почв, наибольшей чувствительностью по отношению к загрязнению отличалась уреазная активность почв, меньшей – активность инвертазы и протеазы. Наибольшая чувствительность уреазы к действию тяжелых металлов, вероятно, связана с ее преимущественной внутриклеточной активностью. Уреазная активность может быть использована как наиболее чувствительная характеристика при исследовании техногенного влияния на состояние почвенной компоненты.

Литература

1. Хазиев, Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1982. – 204 с.
2. Раськова, Н.В. Особенности изменения ферментативной активности почв под влиянием кадмия и свинца / Н.В. Раськова, Н.Г. Зырин, Г.Н. Платонов // Почвоведение. – 1983. – №2. – С.52–56.
3. Галиулин, Р.В. Ферментативная индикация загрязнения почв тяжелыми металлами / Р.В. Галиулин [и др.] // Агрохимия. – 2006. – № 11. – С.84–95.

4. Минеев, В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М.: МГУ, 2003. – 486 с.
5. Макаренко, Т.В. Большой практикум: практическое пособие по разделу «Почвы» для студентов специальности 1 – 31 01 01 «Биология (научно-педагогическая деятельность)» / Т.В. Макаренко, Е.В. Воробьева. – Гомель.: ГГУ, 2009. – 169 с.
6. Щербакова, Т.А. Почвенные ферменты, их выделение, свойства и связи с компонентами почвы / Т.А. Щербакова // Почвоведение. – 1980. – № 5. – С.102–113.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 04.05.11

УДК: 615.451.13:613.281:612.392.61

Влияние этилового спирта на связывание левотироксина натрия сывороточным альбумином

П. А. Авдеев, Ю. В. Корноушенко, Л. А. Евтухова, В. А. Игнатенко

Результат проведенных экспериментов показал, что этиловый спирт в высоких концентрациях уменьшает связывающую способность бычьего сывороточного альбумина к различным лигандам. Можно предположить, что даже низкие концентрации этилового спирта в крови могут пагубно сказываться на транспортной функции альбумина.

Ключевые слова: сывороточного альбумин, лиганды.

The result of the experiments has shown that ethyl spirit in high concentration reduces the connecting ability of bull serum albumin to various ligands. It may be assumed that even low concentration of ethyl spirit in blood can fatally affect albumin transport function.

Keywords: serum albumin, ligands.

Введение

Левотироксин натрия — лекарственное средство, левовращающий изомер тироксина, после частичного метаболизма в печени и почках оказывает влияние на развитие и рост тканей, обмен веществ. Механизмы метаболических эффектов включают рецепторное связывание с геномом, изменения окислительного обмена в митохондриях, а также регулирование потока субстратов и катионов вне и внутри клетки. В малых дозах обладает анаболическим действием. В средних дозах стимулирует рост и развитие, повышает потребность тканей в кислороде, стимулирует метаболизм белков, жиров и углеводов, повышает функциональную активность сердечно-сосудистой системы и центральной нервной системы. В больших дозах угнетает выработку тиротропин-рилизинг гормона гипоталамуса и тиреотропного гормона гипофиза [1].

Левотироксин натрия назначается при гипотиреоидных состояниях различной этиологии в том числе обусловленных хирургическим или медикаментозным воздействием, супрессивной тиреоидной терапии простого (нетоксического) зоба, аутоиммунном тиреоидите Хашимото, многоузловом зобе, тиреостатическом лечении гипертиреоза (комплексная терапия после достижения эутиреоидного состояния, тиреотропинзависимых высокодифференцированных папиллярных или фолликулярных карциномах щитовидной железы (комплексное лечение), профилактике рецидива зоба после резекции, а также при проведении супрессионного скинтиграфического теста щитовидной железы [2].

Лекарственный препарат после всасывания в тонком кишечнике, попадает в кровеносное русло, где связывается практически весь с белками плазмы [3].

Гормон тироксин и его производные, в том числе и левотироксин натрия транспортируются транстиретином (преальбумином), тироксинсвязывающим глобулином и альбумином в печень, головной мозг и мышцы, где главным образом и происходит их метаболизм. Высокие концентрации определенных веществ, содержащихся в крови, могут влиять на транспортную функцию сывороточного альбумина, при этом может происходить снижение связывания левотироксина натрия с альбумином. Несвязанный с белками крови левотироксин натрия практически сразу выводится из кровотока почками, не проявляя своей физиологической функции [4].

Известно, что высокие концентрации этилового спирта вызывают изменение конформации белков вплоть до денатурации, что неблагоприятно сказывается на проявлении их физиологических функций [5].

Цель работы: изучение влияния этилового спирта на связывающую способность левотироксина натрия с сывороточным альбумином.

Материалы и методы исследования

Для целей проведения эксперимента был приготовлен раствор бычьего сывороточного альбумина (Sigma-Aldrich) 0,66 г/л (10^{-5} М) в фосфатном буфере рН= 7,48. Регистрацию спектра интенсивности собственной и зондовой флуоресценции проводили на спектрофлюориметре Cary Eclipse (США).

Условия регистрации зондовой и собственной флуоресценции: длина возбуждения 296 нм, длина регистрации 306-600 нм, спектральные ширины щелей возбуждения и флуоресценции по 5 нм; собственной флуоресценции: длина возбуждения 296 нм, длина регистрации 306-650 нм, спектральные ширины щелей излучения и поглощения – 5 нм.

Сначала провели эксперимент по влиянию левотироксина натрия на параметры собственной флуоресценции бычьего сывороточного альбумина (БСА). Для этого измерили спектры флуоресценции чистого белка и при добавлении 2, 4, 6, 8 и 10 мкг левотироксина натрия. В следующем эксперименте к раствору белка, содержащего 10 мкг левотироксина, добавляли этиловый спирт концентрации: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2 М и измеряли, как при этом менялась величина интенсивности собственной флуоресценции.

Так же провели отдельный эксперимент по влиянию концентраций 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2 М этилового спирта на интенсивность собственной флуоресценции.

После провели аналогичные опыты, только с добавлением в реакционную среду флуоресцентного зонда 1-анилино-8-нафталинсульфонат (АНС) в концентрации $6 \cdot 10^{-5}$ М (Sigma-Aldrich), для изучения показателей зондовой флуоресценции.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных экспериментов по изучению влияния левотироксина натрия, этилового спирта и их совместного действия на собственную флуоресценцию БСА были построены графики, отображенные на рисунке 1.

При действии этилового спирта на БСА, происходят незначительные конформационные переходы, только при концентрации 0,9 М этилового спирта наблюдается значительный конформационный переход, на что указывает значительное снижение интенсивности собственной флуоресценции.

При добавлении левотироксина показатель интенсивности собственной флуоресценции снижался без значительных скачков, что может указывать на незначительные конформационные переходы, происходящие в белке, при связывании его с левотироксином. При добавлении 0,2 М этилового спирта к смеси левотироксина натрия и БСА, интенсивность собственной флуоресценции немного возросла, что может говорить о снижении влияния левотироксина под действием спирта на белок. Однако, при дальнейшем росте концентрации спирта в смеси показатель интенсивности собственной флуоресценции продолжил падение, это может быть результатом денатурирующего влияния самого спирта на белок.

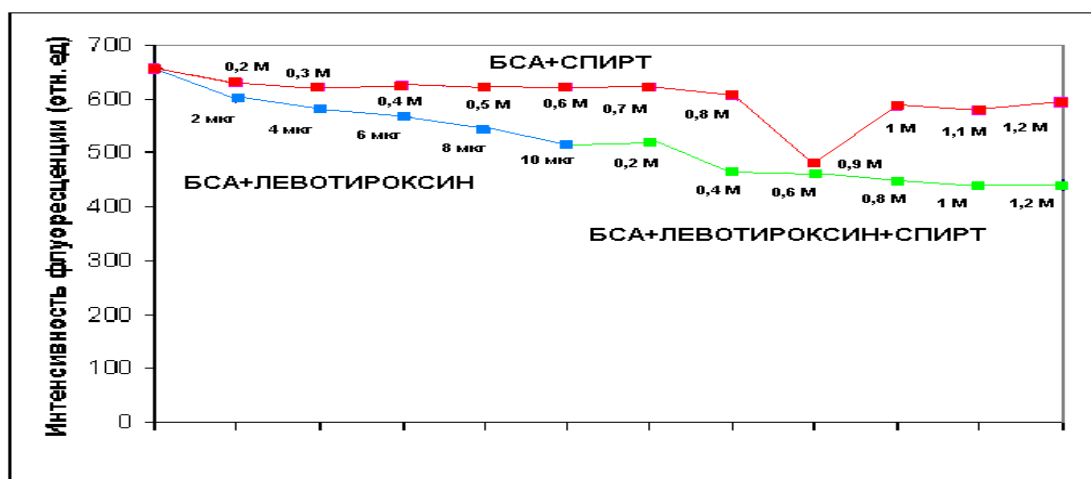


Рисунок 1 – Влияние этилового спирта, левотироксина натрия и их совместное влияние на интенсивность собственной флуоресценции БСА

По результатам проведенных экспериментов по изучению влияния левотироксина натрия, этилового спирта и их совместного действия на зондовую флуоресценцию БСА были построены графики, отображенные на рисунке 2.

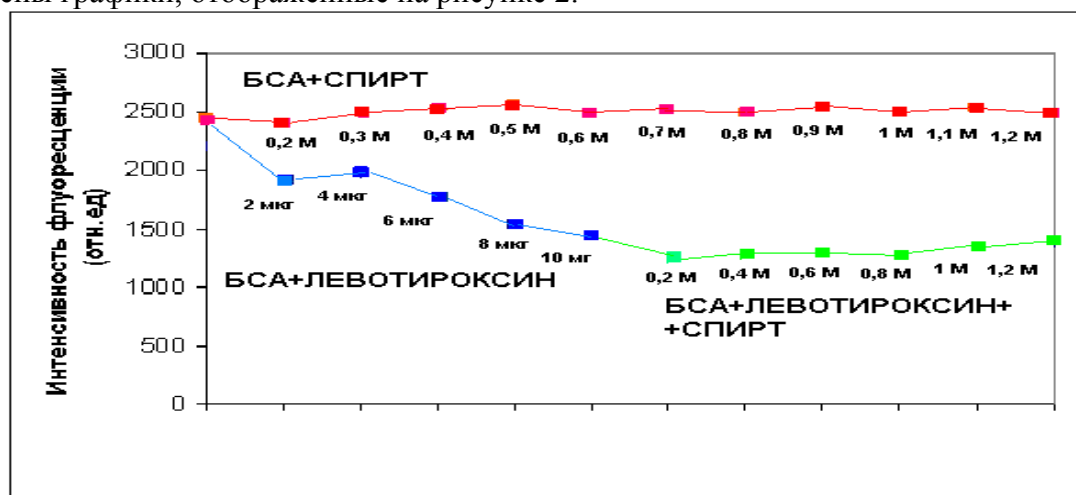


Рисунок 2 – Влияние этилового спирта, левотироксина натрия и их совместное влияние на интенсивность зондовой флуоресценции БСА

Таким образом, при действии этилового спирта на показатель зондовой флуоресценции БСА, ее интенсивность незначительно возрастала. Это может говорить об увеличении связывающей способности альбумина при росте концентрации спирта. Так как этиловый спирт – менее полярный растворитель, чем вода, поэтому его высокие концентрации способствуют выходу на поверхность гидрофобных аминокислот, с которыми благодаря гидрофобным взаимодействиям присоединяется АНС.

При добавлении левотироксина натрия к БСА, интенсивность его зондовой флуоресценции снижалась, что происходит в результате вытеснения АНС из мест его посадки. АНС и левотироксин конкурируют между собой за одни места связывания в белке. Далее к смеси белка, зонда и левотироксина добавляли этиловый спирт, при добавлении его 0,2 М интенсивность зондовой флуоресценции снижалась, однако большие концентрации спирта вызвали рост показателя интенсивности зондовой флуоресценции. Частично это может происходить из-за увеличения показателя связывающей способности АНС с альбумином под влиянием спирта, однако, при действии одного спирта без левотироксина интенсивность зондовой флуоресценции меняется не так значительно. Это может происходить только в результате вытеснения левотироксина с мест его посадки на белке под действием спирта, и по-

садкой на освободившиеся места флуоресцентного зонда, за счет чего происходит более значительный рост интенсивности зондовой флуоресценции.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных экспериментов нами было доказано, что этиловый спирт в высоких концентрациях влияет на связывающую способность бычьего сывороточного альбумина к различным лигандам. Так как спирт способствует к незначительному росту связывающей способности альбумина к флуоресцентному зонду АНС, вероятно эта закономерность относится и к другим схожим по химическому строению лигандам. Однако, при больших концентрациях спирта связывающая способность альбумина по отношению к левотироксину натрия снижается. Хотя столь высокие концентрации спирта в крови практически не наблюдаются не исключено, что они могут возникать в организме локально. Можно предположить, что даже низкие концентрации этилового спирта в крови могут пагубно сказываться на транспортной функции альбумина по отношению к другим лигандам.

Литература

1. Захаревский, А.С. Фармакология с рецептурой: учебник / А.С. Захаревский, Б.Б.Кузьмицкий, Л.Д. Курлович. – Мн.: Высш. шк., 2004. – 304 с.
2. Машковский М.Д. Лекарственные средства. В двух частях. Ч. 1. – 12-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1998. – 736 с.
3. Розен В.Б. Основы эндокринологии: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 384 с.
4. Кольман, Я. Наглядная биохимия: Пер. с нем. / Я. Кольман, К.Г. Рем,– М.:Мир, 2000. – 469 с.
5. Березов, Т.Т. Биологическая химия: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. / Т.Т. Березов, Б.Ф. Коровкин, – М.: Медицина, 1998. – 704 с.

Интенсивность роста дубовой компоненты в смешанных насаждениях

В. М. ЕФИМЕНКО, М. С. ЛАЗАРЕВА, Л. К. КЛИМОВИЧ

В статье описываются основные закономерности роста дубовой компоненты в мягколиственно-дубовых насаждениях. Представлены показатели среднего изменения запаса древесной массы в разрезе пород, составляющих насаждение. Также показана динамика древесного запаса в мягколиственно-дубовых насаждениях, формируемых рубками ухода.

Ключевые слова: Мягколиственно-дубовое насаждение, дубовая компонента, рост, оптимальный состав, рубки ухода, запас, естественный отпад, подзона широколиственно-сосновых лесов, закономерности роста

The article describes the basic laws of the oak component growth in soft-leaved oak plantations. The rates of the mean change of wood pulp supply that makes up the plantation are submitted in the article. The dynamics of the wood supply in soft-leaved oak plantations formed by improvement felling is shown here.

Keywords: Soft-leaved oak plantation, oak component, growth, optimal composition, improvement felling, supply, natural fall, subarea of deciduous pine forests, mechanisms of growth.

Введение

Сложным и ответственным лесохозяйственным мероприятием является проведение рубок ухода в дубравах. Обусловлено это неоднородностью насаждений по составу и структуре. В дубовых молодняках доля участия главных пород незначительна, хотя их численность достигает нескольких тысяч. Однако путем целенаправленного проведения рубок ухода в смешанных дубравах регулируется соотношение древесных пород в составах насаждений и обеспечивается преобладание дуба.

Особенности назначения, проведения рубок ухода в смешанных дубовых насаждениях регламентируются программами и нормативами, которые разрабатываются на основе закономерностей изменения различных лесоводственно-таксационных показателей или моделей их роста. До настоящего времени смешанные по составу и сложные по форме насаждения изучены недостаточно. Цель исследований – выявить закономерности роста дубовой компоненты модальных по составу дубрав под воздействием рубок ухода и найти в первом приближении модели формирования дубрав рубками ухода.

Объекты и методика исследований

Изучение роста сложных дубовых насаждений проведено на основе данных постоянных и временных пробных площадей, соответствующих по уровню производительности высшим классам бонитета.

С целью выявления оптимального уровня густоты мягколиственной компоненты в смешанных мягколиственно-дубовых молодняках в грабово-дубово-темнохвойной и широколиственно-сосновой лесорастительных подзонах Беларуси (класс бонитета 1-2) были заложены пробные площади (всего более 150), на которых определены таксационные параметры и определено изменение прироста по высоте у наиболее перспективной части дубовой компоненты. Выявление динамики таксационных параметров насаждений проводилось как для модальных, так и для высокополнотных насаждений. Также использовались ранее разработанная база данных по мягколиственно-дубовым насаждениям в разрезе лесорастительных подзон Беларуси.

Поскольку в составе сложных дубовых насаждений имеется большое количество древесных пород, было проведено объединение пород в группы: мягколиственные – береза, осина, ольха и твердолиственные – клен, ясень, граб.

Расчет таксационных параметров проводился по общепринятым методическим приемам, как для отдельных пород, так и для групп мягколиственных и твердолиственных пород. Математические модели возрастной динамики находились при помощи выравнивания опытных данных по полиномам различной степени. Запас стволовой древесины на площади одного гектара по группам пород аппроксимировался при помощи показательных и степенных уравнений.

Результаты и обсуждение

Результаты моделирования роста разреживаемых насаждений показывают, что максимальный прирост и максимальное количество древесной продукции дают насаждения, выращиваемые в условиях близких, но не достигающих предела максимальной сомкнутости. Поэтому поддержание в насаждениях оптимальной сомкнутости растительного полога способствует достижению лучших результатов накопления древесной продуктивности.

Полученные данные на заложенных пробных площадях в смешанных мягколиственно-дубовых насаждениях позволили найти взаимообусловленность изменения средней высоты дубовой компоненты насаждения (ΔH , см/год) от ее возраста (A , лет) густоты (Nd , тыс. шт./га) и густоты мягколиственной части насаждения (Nmg , тыс. шт./га), которая отражается следующим аналитическим выражением:

$$\ln \Delta H = 2,12 + 0,402 \cdot \ln A + 0,309 \cdot \ln Nd - 0,285 Nmg$$

Расчет полученного аналитического выражения показывает, что при совместном произрастании дуба с мягколиственными породами увеличение его возраста и густоты влечет и увеличение интенсивности прироста по высоте, то есть увеличивается устойчивость роста дубовой компоненты в насаждении. Средний прирост высоты перспективных особей дубовой компоненты в зависимости от возраста и густоты роста представлен в таблице 1.

Таблица 1

Средний прирост высоты перспективных особей дубовой компоненты насаждений в зависимости от возраста и густоты роста

Густота дубовой компоненты, тыс. шт/га	Прирост по высоте дубовой компоненты (см/год) при густоте мягколиственной, тыс. шт / га											
	10-летнее насаждение						20-летнее насаждение					
	1	5	10	15	20	25	1	5	10	15	20	25
0,5	21	13	11	9	9	8	26	17	14	12	11	11
1,0	24	16	13	12	11	10	33	21	17	15	14	13
1,5	27	18	15	13	12	11	37	23	19	17	16	15
2,0	30	20	16	14	13	12	40	26	21	19	17	16
2,5	32	21	17	15	14	13	43	27	23	20	19	17
3,0	34	22	18	16	15	14	46	29	24	21	20	18

Так, в 10-15-летних смешанных дубовых насаждениях с густотой дубовой компоненты в 0,5-1,0 тыс. шт. га критическая численность мягколиственных, при которой абсолютная величина прироста высоты снижается и темп изменения остается на постоянном уровне равна 10-15 тыс. шт/га.

При более густом стоянии дуба – 2,5-3,0 тыс. шт. га в возрасте 10-15 лет темп прироста уже снижается при числе мягколиственных пород, равной 20-25 тыс. шт/га.

Следовательно, при формировании смешанных дубовых древостоев не следует допускать отмеченного критического уровня численности мягколиственных пород.

Таким образом, при проведении осветлений в смешанных дубовых молодняках с численностью дубовой компоненты от 1,5 до 3,0 тыс. шт/га количество мягколиственной части насаждения не должно превышать 15-20 тыс. шт/га.

При меньшей численности дубовой компоненты (0,5-1,0 тыс. шт/га) густоту мягколиственной части насаждения следует также снижать и поддерживать в пределах до 10-15 тыс. шт/га.

С учетом темпов роста, исходя из разработанной базы данных по мягколиственно-дубовым насаждениям, получена динамика изменений роста основных компонент, составляющих насаждения в модальном состоянии [1, 2].

Накопление древесины дуба, исходя из полученной динамики роста мягколиственно-дубовых насаждений, происходит более низкими темпами, что обеспечивает накопление на 40% ниже нормативного (по таблицам хода роста – ТХР). В насаждениях к возрасту окончания рубок ухода накапливается перестойная древесина мягколиственных пород. Все это свидетельствует о том, что режим хозяйствования, под влиянием которого сформировались исследуемые модальные насаждения, не способствовал увеличению доли дуба в насаждении и его лучшему росту.

Найденные закономерности позволили представить рост сложных дубовых насаждений в виде системы, определяющим элементом в которой является возраст насаждения. Важным и наиболее ответственным моментом при рубках ухода является определение периода назначения рубки и объема изымаемой древесной массы.

В настоящее время в странах с развитым лесоводством наблюдается тенденция максимального использования возможностей увеличения продукции отдельных деревьев, создание ступенчатой структуры, сомкнутости крон деревьев в насаждении, снижении влияния затенения хвой и листвы на продуцирование древесины при выборочном ведении хозяйства.

Успешное достижение этих целей возможно при поддержании роста насаждений в определенных нормативных параметрах. При этом необходимо, чтобы прирост древесной массы в насаждении достаточно длительный период был максимально возможным либо не снижался ниже 95 % от его уровня. Основываясь на этом, в ряде Европейских стран (Австрия, Германия, Швеция) нормативы разреживания не допускают снижение полнот насаждений ниже критического уровня.

В дубравах сумму площадей сечений можно снижать до 0,75. На основе критических сумм площадей сечений установлены понятия степени изреживания: слабое изреживание, когда сумма площади сечения уменьшается менее чем на $0,1 \text{ м}^2$; сильное изреживание, когда сумма площадей сечений уменьшается на $0,25 \text{ м}^2$. Промежуточное положение занимает умеренное изреживание.

Исследования А. Кайрюкштиса и других лесоводов [3] показали, что возможность накопления продуктивности с учетом проводимых разреживаний насаждений ограничиваются условиями местообитаний. Наиболее эффективно эти условия используются при формировании ступенчатой структуры насаждений, сочетанием светолюбивых и теневыносливых пород, своевременным удалением угнетенных деревьев и созданием условий для роста наиболее перспективным деревьям целевой древесной породы.

На основе анализа роста дубовой компоненты в изреживаемых мягколиственно-дубовых насаждениях были найдены параметры полноты, которые необходимо поддерживать в насаждении. Эти данные показывают, что для дубовой компоненты она находится в пределах от 0,5 до 0,8. Для мягколиственной части насаждения в целях снижения ее угнетающего воздействия на дуб полнота должна поддерживаться в пределах 0,1-0,3 (таблица 2).

Таблица 2

Показатели назначения рубок ухода в мягколиственно-дубовых насаждениях

Возраст, лет	Критерий полноты по породам				Критерий запаса по породам			
	дуба	березы	осины	ольхи	дуба	березы	осины	ольхи ч.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	0,5	0,13	0,19	0,18	3	2	3	3
10	0,5	0,15	0,16	0,17	18	9	11	10
15	0,5	0,17	0,17	0,18	30	17	19	17
20	0,52	0,16	0,16	0,18	42	25	28	25
30	0,55	0,15	0,15	0,19	70	31	46	41
40	0,58	0,14	0,15	0,19	115	38	63	58
50	0,65	0,13			168	42		
60	0,70	0,12			215	44		
70	0,75	0,10			267	45		
80	0,80				326			

Для прогнозирования состояния древостоя при различных уровнях полнот нами использовалась величина среднего изменения накопления стволовой массы по породам, составляющим насаждение (таблица 3).

Таблица 3

Показатели среднего изменения запаса древесной массы

Возраст, лет	Среднее изменение запаса по породам, м ³ /га			
	Дуб	Береза	Осина	Ольха
5	0,6	0,40	0,6	0,6
10	1,8	0,90	1,1	1,00
15	2,0	1,13	1,2	1,13
20	2,1	1,25	1,4	1,24
30	2,3	1,03	1,5	1,36
40	2,9	0,95	1,6	1,45
50	3,4	0,84		
60	3,6	0,73		
70	3,8	0,64		
80	4,1			

Результаты показывают, что для поддержания накопления древесной массы спутниками дуба на уровне, не вызывающем угнетающего воздействия, необходимо производить ее вырубку из древостоя.

В итоге получены прогнозные изменения параметров смешанного мягколиственно-дубового древостоя, отвечающего целям формирования насаждений с большей долей участия дуба в составе.

В качестве примера приводятся расчеты по подзоне широколиственно-сосновых лесов (Пинский и Мозырский опытные лесхозы) (таблица 4).

Данные таблицы 4 показывают, что рубки необходимо начинать с молодого возраста дуба и вести их с наибольшей интенсивностью в молодняках и средневозрастном насаждении, затем их интенсивность снижать. Вырубка должна проводиться по всем категориям пород в пределах критического уровня накопления запаса составляющих пород насаждения.

Таблица 4

Показатели динамики древесного запаса в мягколиственно-дубовых насаждениях, формируемых рубками ухода

Возраст, лет	Запас по породам, м ³ /га											
	дуба			березы			осины			ольхи ч.		
	перед рубкой	вырубаемый	оставляемый	перед рубкой	вырубаемый	оставляемый	перед рубкой	вырубаемый	оставляемый	перед рубкой	вырубаемый	оставляемый
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	3	0	3	2	0	2	6	5	1	3	0	3
10	27	9	18	14	5	9	16	6	10	15	0	15
15	40	10	30	22	6	16	25	7	18	23	6	17
20	53	11	42	31	6	25	35	15	20	31	6	25
30	93	23	70	42	10	32	61	15	46	54	14	40
40	144	29	115	47	9	38	97			72	14	58
50	202	34	168	51	8	47						
60	251	36	215	52	7	45						
70	305	38	267	51	6	45						
80	367	41	326									

Заключение

Формирование высокопродуктивных дубовых насаждений оптимального состава достигается своевременными и регулярными рубками ухода. Величина вырубемого древесного запаса не должна выходить за пределы суммы естественного отпада.

В результате научно-обоснованных рубок к возрасту их окончания достигается преобладание в составе дуба с запасом стволовой древесины 300-350 м³/га.

Литература

1. Лазарева, М. С. Анализ распространения и состояния мягколиственно-дубовых насаждений Беларуси в разрезе лесорастительных районов / М. С. Лазарева, Л. К. Климович, Н. В. Мальцева // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. – Вып. 69. – Гомель: ИЛ НАН Б, 2009. – С. 68-81.
2. Лазарева, М. С. Модели роста мягколиственно-дубовых насаждений Беларуси / М. С. Лазарева, В. М. Ефименко, Л. К. Климович, Н. В. Мальцева // Проблемы лесоводства и лесоведения: Сб. науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. – Вып. 70. – Гомель: ИЛ НАН Б, 2010. – С. 66-75.
3. Кайрюкшис, Л. Картограммы формирования эталонных смешанных твердолиственных насаждений / Л. Кайрюкшис, А. Юодвалкис, Ю. Баркаус, С. Йоникас // Труды Литовского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – Вып. 20. – 1981. – С. 9-13.

УДК 582.099:635.92.05 (476.2-2 Гом)

Декоративные растения г. Гомеля

С. В. ЖАДЬКО

Зафиксировано 430 видов растений из 97 семейств, 5 классов и 3 отделов, обладающих декоративными свойствами и используемых в озеленении г. Гомеля. Выделены апофиты, используемые в декоративных целях, (121 вид) и интродуценты (309 видов). 29,7 % из числа последних способны к дичанию и натурализации, пополняя, таким образом, спонтанную флору города.

Ключевые слова: урбофлора, декоративные растения, апофиты, интродуценты, озеленение, адвентивные растения.

The flora of ornamental plants of is presented by 430 species, 97 families, 5 classes and 3 divisions. Checklists of introductions plants and apophytes, cultivated and spontaneous plants, herbs, shrubs and tress are presented.

Keywords: urban flora, ornamental plants, apophytes, introduction plants, gardening, alien plants.

Введение

Урбофлора объединяет два ключевых компонента – культивируемый и спонтанный. Последний чаще всего является объектом пристального изучения многих флористов [1, 2]. Культивируемые виды в крупных городах могут формировать значительный вклад в общее число видов населенного пункта [3], значительно обогащая его флору, одновременно унифицируя ее с другими, даже значительно удаленными городами. Данной группе видов при изучении урбофлор часто уделяется недостаточно внимания.

В Республике Беларусь появилось значительное количество флористических работ, посвященных изучению городских флор [4-7], однако в вопросы культивируемой флоры остаются не до конца раскрытыми либо не охватывают территории всей страны [8].

Основная часть

Целью данной работы стало установление списка декоративных растений, используемых в озеленении г. Гомеля и места данных видов в структуре городской флоры.

Исследования проводили с 2007 по 2010 г. маршрутным методом на улицах города и частных подворьях. Фиксировали все культивируемые и спонтанно произрастающие растения, обладающие декоративными признаками (красивоцветущие, декоративнолиственные, вьющиеся, с декоративными плодами). Названия семейств и видов приведены по [9].

Нами зафиксировано 430 видов растений из 97 семейств, 5 классов и 3 отделов. Отдел папоротниковидные представлен 3 видами, отдел голосеменные – 20, остальные растения относятся к покрытосеменным и неравномерно делятся на два класса: однодольные (12,6 % видов) и двудольные (70,4 % видов). Первые по количеству видов 10 семейств: Rosaceae, Asteraceae, Fabaceae, Ranunculaceae, Pinaceae, Liliaceae, Brassicaceae, Lamiaceae, Iridaceae, Salicaceae – включают 43,7 % отмеченных растений, 20 семейств – 61,4 %. 56 одно- и двудольных семейств объединили 18,1 % декоративных растений.

На основании анализа географического происхождения видов выделено 2 группы: апофиты (28,1 % от общего числа) и интродуценты (71,9 %). В последнюю группу включены адвентивные растения разного времени заноса, т.к. большинство из них изначально использовались в качестве декоративных.

Интродуценты объединяют 309 видов из 219 родов, 85 семейств. Порядок убывания численности видов первых 9 семейств, к которым относится 42,4 % видов: Rosaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae, Aceraceae, Iridaceae, Oleaceae, Pinaceae, Lamiaceae. На де-

сятом месте находится 7 семейств, включающих 11,3 % видов. 53 одно-двувидовых семейства объединяют 23,3 % декоративных интродуцентов.

К апофитам, используемым в декоративных целях, относится 121 вид из 82 родов и 40 семейств. Первые 9 семейств: Rosaceae, Ranunculaceae, Liliaceae, Betulaceae, Crassulaceae, Salicaceae, Tiliaceae, Fabaceae, Pinaceae, – включают 52,9 % видов, на десятом месте 3 семейства с 9,9 % видов. 26 маловидовых семейств объединили 32,2 % растений данной группы.

Соотношение биоморфологических групп декоративных растений представлено в таблице.

Таблица – Биоморфы декоративных растений г. Гомеля (%)

№	Форма	Всего	Интродуценты		Апофиты	
			культиви- руемые	спон- танные	культиви- руемые	спон- танные
1	Однолетники	16,5	16,2	6,5	0,0	0,8
2	Двулетники	1,9	1,6	0,6	0,8	0,0
3	Многолетники					
3.1	– травы	40,4	25,6	9,4	11,6	43,0
3.2	– кустарнички	2,1	1,3	0,3	0,8	1,7
3.3	– кустарники	16,5	13,6	4,2	4,1	9,1
3.4	– лианы	1,2	11,0	8,4	9,9	17,4
3.5	– деревья	21,6	1,0	0,3	0,8	0,0

Среди декоративных растений г. Гомеля доминируют многолетние травы, менее всего распространены лианы. Травянистые растения объединяют 58,8 % зарегистрированных видов из 43 семейств, древесно-кустарниковые – 41,2 % из 59 семейств.

Наиболее массово представлена группа культивируемых интродуцентов. Среди них травянистые растения – 31,2 % видов от общего числа декоративных растений Гомеля: *Ageratium houstonianum* Mill., *Ajuga genevensis* L., *Alcea rosea* L., *Allium rosenbachianum* Regel, *Alyssum maritimum* Lam., *Amaranthus caudatus* L., *A. cruentus* L., *Anterrhinum majus* L., *Asclepias syriaca* L., *Aster alpinus* L., *A. dumosus* L., *Astilbe x hybrida* hort., *Aubrieta x cultorum* Bergmans, *Begonia x hortensis* Craft et Zwicky, *B. x tuberhybrida* Voss, *Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch, *Calceolaria rugosa*, *Callistephus chinensis* (L.) Nees, *Campanula medium* L., *Canna x hybrida* L., *Celosia cristata* L., *Cerastium bibersteinii* DC, *Chionodoxa luciliae* Boiss., *Chrysanthemum x koreanum* Nakai., *Cineraria maritima* L., *Clarkia pulchella* Pursh., *Cleome spinosa* Jacq., *Colchicum autumnale* L., *C. speciosum* Stev., *Crococsmia x crocosmiiflora* (Lemoine) N.E.Br., *Crocus reticulatus* Stev. ex Adam., *C. speciosus* Bieb., *C. vernus* (L.) Hill, *Dahlia x cultorum* Thorsr. et Reis, *Datura suaveolens* L., *Delphinium cultorum* Voss., *Dianthus chinensis* L., *D. plumarius* L., *Dicentra spectabilis* (L.) Lem., *Dimorphoteca sinuata* DC., *Dipsacus sativus* (L.) Honck., *Duchesnea indica* (Andrews) Focke, *Echinacea purpurea* (L.) Moench, *Echinops ruthenicus* M. Bieb., *Eschscholzia californica* Cham., *Euphorbia marginata* Pursh., *Fritillaria imperialis* L., *F. meleagris* L., *Gaillardia pulchella* Foug, *Gladiolus x hybridus* hort., *Gomphrena globosa* L., *Gypsophila paniculata* L., *Helenium autumnale* L., *Heliopsis helianthoides* (L.) Sweet v. Scabra, *Helleborus caucasicus* A.Br., *Hemerocallis fulva* (L.) L., *H. x hybridus* hort., *Hosta albo-marginata* (Hook.) Ohwi., *Hyacinthus orientalis* L., *Iberis umbellata* L., *Ipomea purpurea* (L.) Roth., *I. tri-color* Cav., *Iridodictyum reticulatum* (Bieb.) Rodion, *Iris germanica* L., *I. x hybrida* hort., *Lagurus ovatus* L., *Lathyrus odoratus* L., *Leontopodium alpinum* Cass., *Leucanthemum maximum* (Ramond) DC., *Leucojum vernum* L., *Leymus arenarius* (L.) Hochst., *Lilium candidum* L., *L. tigrinum* Ker-Gawl., *L. x hollandicum* Bergmans, *Lobelia erinus* L., *Lunaria annua* L., *Lychnis chalcidonica* L., *Malva mauritana* L., *M. pussila* Smith, *Matthiola annua* (L.) Sweet, *M. bicornis* (Sibth. Et Smith) DC, *M. longipetala* (Vent.) DC, *Mimulus guttatus* DC, *Mirabilis jalapa* L., *Muscari muscarimi* Medikus, *Myosotis alpestris* F.W.Schmidt, *Narcissus angustifolius* Curt., *N. poeticus* L., *N. pseudonarcissus* L., *N. x hybridus* hort., *Nemesia strumosa*, *Nicotiana alata* Link. et Otto, *Nigella damascena* L., *Oenothera perennis* L., *Ornithogalum umbellatum* L., *Paeonia lactiflora* L., *P. x hybrida*

hort., *Papaver orientale* L., *P. somniferum* L., *Perilla frutescens* (L.) Britton, *Petunia hybrida* Vilm., *Phaseolus coccineus* L., *Phlox divaricata* L., *P. paniculata* L., *Physalis franchetti* Mast., *Physostegia virginiana* (L.) Britton, *Phytolacca americana* L., *Platycodon grandiflorus* (Jacq.) A. DC, *Portulaca grandiflora* Hook., *Primula denticulata* Sm., *P. japonica* A. Gray, *P. sieboldii* Morr., *P. vulgaris* Huds., *Reseda odorata* L., *Ricinus communis* L., *Rudbeckia fulgida* Ait., *R. laciniata* L. cv. "Goldball", *Salvia splendens* Ker-Gawl., *Scilla sibirica* Haw. In, *Hylotelephium spectabile* (Boreau) H. Ohba., *S. spurium* Bieb., *Silybum marianum* (L.) Gaertn., *Stachys germanica* L., *Tagetes erecta* L., *T. patula* L., *T. tenuifolia* Cav., *Tradescantia x andersoniana* Ludw. Et Rohw., *Trollius asiaticus* L., *Tropaeolum majus* L., *Tulipa hybrida hort*, *Verbena hybrida* Voss in Siebert & Voss, *Viola x wittrokiana* Gams. Ex Nauenb. & Buttler, *Xerochrysum bracteatum* (Vent.) Tzvelev, *Zinnia elegans* Jack.

И 19,3 % – это декоративные древесно-кустарниковые растения: *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim., *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A. Mey., *A. rubrum* L., *Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim., *Aesculus octandra* Marshall, *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Alyssum montanum* L., *Aralia elata* (Miq.) Seem., *Berberis Sieboldii* Meq., *B. thunbergii* DC, *B. vulgaris* L., *Brunnera macrophylla* (Adams) I.M. Johnst., *Buddleja davidii* Franch., *Buxus colchica* Pojark., *Campsis radicans* (L.) Seem., *Catalpa speciosa* Warder ex. Barney, *Cotinus coggygria* Scop., *Cotoneaster horizontalis* Decne, *C. integerrimus* Medik., *Crataegus curvisepala* Lindm., *C. douglasii* Lindl., *C. monogina* Jacq., *C. submollis* Sarg., *Cydonia oblonga* Mill., *Deutzia gracilis* Siebold & Zucc., *Fagus silvatica* L., *Forsythia europaea* Deg. et Bald, *Ginkgo biloba* L., *Gleditsia triacantos* L., *Hydrangea arborescens* L., *H. petiolaris* Siebold & Zucc., *Jasminum officinale* L., *Juglans cinerea* L., *J. regia* L., *Juniperus sabina* L., *Kerria japonica* (L.) DC, *Koelreuteria paniculata* Laxm., *Laburnum anagyroides* Medik., *Larix deciduas* Mill., *Lobularia maritima* (L.) Desv., *Lonicera caprifolium* L., *L. tatarica* L., *Magnolia x soulangeana* Soul.-Bod., *Mahonia aquifolium* (Pursh.) Nutt., *Malus baccata* (L.) Borkh., *M. prunifolia* (Willd.) Borkh., *M. sieversii* (Ledeb.) M. Roem. cv. Niedzwetzkyana, *Morus nigra* L., *Padus virginiana* (L.) Mill., *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz, *Persica vulgaris* Mill., *Phellodendron amurense* Rupr., *Philadelphus pallidus* Hayek., *P. tenuifolius* Rupr. & Maxim., *Pinus strobus* L., *Platycladus orientalis* (L.) Franco, *Prunus serotina* (Ehrh.) Ag., *Ptelea trifoliata* L., *Quercus palustris* Muench., *Q. suber* L., *Rhododendron luteum* Sweet., *Ribes aureum* Pursh, *Rosa glabrifolia* C.A.Mey. ex. Pupr., *R. glauca* Pourr., *R. subcanina* (Christ) Dalla Torre et Sarnth, *Ruta hortensis* Mill., *Sambucus racemosa* L., *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill., *Sorbus alnifolia* (Siebold & Zucc.) K. Koch, *S. torminalis* (L.) Crantz, *Spiraea chamaedrifolia* L., *S. media* Schmidt, *S. salicifolia* L., *Stephanandra Tanakae* Franch. et Sav., *Symphoricarpos albus* (L.) Blake, *Syringa josikaea* Jacq., *S. villosa* Vahl., *Taxus baccata* L., *Thuja occidentalis* L., *Tilia platyphyllos* Scop., *Tsuga canadensis* (L.) Carr., *Viburnum lantana* L., *Weigela hortensis* (Sieb. et Zucc.) C. Koch.

Часть интродуцентов дичает, натурализуется, пополняя, таким образом, спонтанную флору города: травянистые виды (11,9 % от общего числа видов) – *Anagallis arvensis* L., *Anchusa officinalis* L., *Aquilegia x hybrida hort.*, *Arrhenatherum elatius* (L.) J.&C. Presl, *Asparagus officinalis* L., *Aster novae-angliae* L., *A. novi-belgii* L., *Atriplex hortensis* L., *Borago officinalis* L., *Calendula officinalis* L., *Centaurea cyanus* L., *Consolida regalis* Gray, *Cosmos bipinnatus* Cav., *Datura stramonium* L., *Dianthus barbatus* L., *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et A. Gray, *Eryngium planum* L., *Euphorbia cyparissias* L., *Fumaria officinalis*, *Galanthus nivalis* L., *Helianthus annuus* L., *H. tuberosus* L., *Hesperis matronalis* L., *Hordeum murinum* L., *Impatiens glandulifera* Royle, *Inula helenium* L., *Kochia scoparia* (L.) Schrad., *Lamium purpureum* L., *Lathyrus tuberosus* L., *Lavatera thuringiaca* L., *Levisticum officinale* W.D.J. Koch, *Lupinus angustifolius* L., *L. luteus* L., *L. polyphyllus* Lindl., *Malva neglecta* Wallr., *Myosotis sylvatica* Ehrh. ex Hoffm., *Nepeta cataria* L., *Papaver dubium* L., *P. rhoeas* L., *Pyrethrum parthenicum* (L.) Smith, *Reynoutria japonica* A. Gray, *R. sachalinensis* (F. Schmidt ex Maxim.) Nakai, *R. x bohémica* Chertec et Chrtková, *Rudbeckia hirta* L., *Silphium perfoliatum* L., *Solanum tuberosum* L., *Solidago canadensis* L., *S. gigantea* L., *Thladiantha dubia* Bunge, *Verbena officinalis* L., *Viola odorata* L. И древесно-кустарниковые растения (9,5 % от общего числа видов), способные к дичанию, натурализу-

ции или сохраняющие декоративные качества в случае отсутствия ухода более 20 лет: *Acer campestre* L., *A. ginnala* Maxim., *A. negundo* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. tataricum* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Armeniaca vulgaris* Lam., *Caragana arborescens* Lam., *Cerasus tomentosa* (Thunb.) Wall., *C. vulgaris* Mill., *Chaenomeles maulei* (Mast.) C.K. Schneid., *Fraxinus lanceolata* Borkh., *F. pennsylvanica* Marshall, *Hippophae rhamnoides* L., *Juglans mandshurica* Maxim., *Ligustrum vulgare* L., *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch., *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim., *Picea pungens* Engelm., *Pinus banksiana* Lamb., *P. mugo* Turra, *Populus alba* L., *P. balsamifera* L., *P. deltoides* Marshall, *Prunus divaricata* Ledeb., *P. domestica* L., *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco., *Quercus rubra* L., *Rhus typhina* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Rosa canina* L., *R. rugosa* Thunb., *Salix babilonica* L., *Sambucus nigra* L., *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun in Asch., *Spiraea japonica* L., *Swida alba* (L.) Opiz in Bercht., *Syringa vulgaris* L., *Tilia americana* L., *Vinca minor* L.

Среди декоративных апофитов отмечены виды, которые в естественных условиях произрастания занесены в Красную книгу Республики Беларусь и списки профилактической охраны. К культивируемым травянистым апофитам принадлежат 3,5 % всех растений: *Aconitum napellus* L., *Allium schoenoprasum* L., *Allium ursinum* L., *Aruncus vulgaris* Raf., *Campanula latifolia* L., *Campanula persicifolia* L., *Hylotelephium maximum* (L.) Holub, *Iris sibirica* L., *Lilium lancifolium* Thunb., *Lilium martagon* L., *Lilium regale* Wilson., *Lunaria rediviva* L., *Potentilla alba* L., *Pulsatilla patens* (L.) Mill., *Salvia pratensis* L. Культивируемые древесно-кустарниковые апофиты объединяют 4,4 % всех декоративных видов: *Andromeda polifolia* L., *Cerasus fruticosa* Pall., *Clematis jakmannii* Moore, *Cotoneaster lucidus* Schldt., *C. melanocarpus* Fisch. ex Blytt, *Juniperus virginiana* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Pinus pallasiana* D. Donn, *Populus italica* (Du Roi) Moench, *Rosa acicularis* Lindl., *Salix daphnoides* Vill., *S. purpurea* L., *Sorbus hybrida* L., *S. intermedia* (Ehrh.) Pers., *Spiraea trilobata* L., *Tilia amurensis* Rupr., *T. argentea* Desf. ex DC., *T. begoniifolia* Steven, *T. petiolaris* DC.

Группа спонтанно произрастающих апофитов, обладающих декоративными свойствами включает 12,3 % травянистых вида: *Achillea millefolium* L., *Aegopodium podagraria* L., *Ajuga reptans* L., *Anemonoides nemorosa* (L.) Holub, *Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub, *Anthericum ramosum* L., *Bellis perennis* L., *Briza media* L., *Calla palustris* L., *Caltha palustris* L., *Campanula glomerata* L., *Campanula trachelium* L., *Convallaria majalis* L., *Corydalis bulbosa* (L.) DC., *Corydalis cava* (L.) Schweigg. & Koerte, *Corydalis intermedia* (L.) Merat, *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Digitalis grandiflora* Mill., *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs, *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott., *Ficaria verna* Huds., *Gagea lutea* (L.) Ker-Gawl., *Hylotelephium purpureum* (L.) Holub., *Iris pseudacorus* L., *Jovibarba sobolifera* (Sims) Opiz., *Lathyrus sylvestris* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Leucanthemum vulgare* Lam., *Lysimachia nummularia* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Matteucia struthiopteris* (L.) Tod, *Melica nutans* L., *Myosotis scorpioides* L., *Nymphaea alba* L., *Origanum vulgare* L., *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Polemonium caeruleum* L., *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Potentilla erecta* L., *Prunella vulgaris* L., *Pulmonaria officinalis* L., *Saponaria officinalis* L., *Securigera varia* (L.) Lassen, *Sedum acre* L., *Sedum sexangulare* L., *Sempervivum ruthenicum* Schnittsp., *Solidago virgaurea* L., *Thalictrum lucidum* L., *Typha angustifolia* L., *Typha latifolia* L., *Veratrum lobelianum* Bernh., *Verbascum lychnitis* L., – и 7,9 % древесно-кустарниковых: *Acer platanoides* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *A. incana* (L.) Moench, *Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh., *Calluna vulgaris* (L.) Hull., *Carpinus betulus* L., *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Vorosch.) Klask., *Corylus avellana* L., *Euonymus europaea* L., *E. verrucosa* Scop., *Frangula alnus* Mill., *Fraxinus excelsior* L., *Juniperus communis* L., *Padus avium* Mill., *Picea abies* (L.) H. Karst., *P. glauca* (Moench) Voss, *Pinus sylvestris* L., *Populus tremula* L., *Prunus spinosa* L., *Rhamnus tinctoria* Waldst. & Kit., *Rosa majalis* Herrm., *R. tomentosa* Sm., *Sorbus aucuparia* L., *Swida sanguinea* (L.) Opiz in Bercht., *Tilia cordata* Mill., *T. europaea* L., *Ulmus glabra* Huds., *U. laevis* Pall., *Viburnum opulus* L.

Закключение

Таким образом, в настоящее время на территории г. Гомеля произрастает 430 видов

декоративных растений, из которых 71,9 % являются интродуцентами, 28,1 % – апофитами. Из числа первых 29,7 % (или 21,4 % от общего количества видов) способны к дичанию и натурализации, пополняя, таким образом, спонтанную флору города. Приведены списки культивируемых и спонтанно произрастающих травянистых и древесно-кустарниковых декоративных апофитов и интродуцентов.

Литература

1. Protopopova, V. A preliminary checklist of the urban flora of Uzhgorod / V. Protopopova, M. Shevera. Kyiv, Phytosociocentre, 2002. 68 p.
2. Zavyalova, L. V. A checklist of Chernihiv urban flora / L. V. Zavyalova. Kyiv, Phytosociocentre, 2010. 107 p.
3. Валыгина, Т. И. Флора Москвы / Т. И. Валыгина [и др.]. Москва: Голден-Би, 2007. 512 с.
4. Вахний, А. А. Адвентивная флора Брестского района. Агриофиты / А. А. Вахний, А. Т. Жуковский, Н. А. Вахний // Природное окружение Полесья: особенности и перспективы развития: Сборник научных трудов. – Вып. 1. Т. 1. Брест, 2008. С. 98-101.
5. Вахний, А. А. Адвентивная флора Брестского района. Археофиты / А. А. Вахний, А. Т. Жуковский, Н. А. Вахний // Природное окружение Полесья: особенности и перспективы развития: Сборник научных трудов. – Вып. 1. Т. 1. Брест, 2008. С. 154-157.
6. Вахний, А. А. Адвентивная флора Брестского района. Эфемерофиты / А. А. Вахний, А. Т. Жуковский, Н. А. Вахний // Природное окружение Полесья: особенности и перспективы развития: Сборник научных трудов. – Вып. 1. Т. 1. Брест, 2008. С. 102-106.
7. Третьяков, Д. И. Адвентивная фракция флоры Беларуси и ее становление / Д. И. Третьяков // Изучение биологического разнообразия методами сравнительной флористики: Материалы IV рабочего совещания по сравнительной флористике, Березинский заповедник, 1993. СПб. : НИИХ СПбГУ, 1998. С. 250-259.
8. Лукина, Н. М. Декоративные травянистые растения культурной флоры Беларуси / Н. М. Лукина [и др.]. Минск: Беларус. навука, 2010. 170 с.
9. Czerepanov, S. K. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR) / S. K. Czerepanov. Cambridge, 1995. 516 p.

Технологические особенности рубок ухода в смешанных дубовых молодняках

П. В. КОЛОДИЙ, М. С. ЛАЗАРЕВА, Т. А. КОЛОДИЙ

На основе анализа практического опыта проведения рубок ухода в смешанных дубовых молодняках и результатов научных исследований рекомендованы технологии проведения осветлений и прочисток для обеспечения оптимального режима формирования древостоев искусственного и естественного происхождения.

Ключевые слова: Рубки ухода, осветление, прочистки, технология, технические средства, смешанные молодняки, метод рубок ухода, программа формирования.

Analyzing the practical experience of carrying out the improvement felling in mixed young growths and the research results, the technologies of clarification and disengagement cutting are recommended for assurance of optimal regime of artificial and natural stand formation.

Keywords: improvement felling, clarification, disengagement, technology, technical facilities, mixed young growths, improvement felling method, formation programme.

Введение

Для решения важнейшей лесоводственной проблемы – регулирования густоты и формирования желаемого состава насаждений – лесоводами прошлого и настоящего времени разработан ряд методов рубок ухода: низовой, верховой, комбинированный. Кроме этого предложены оригинальные методы рубок ухода: метод моложения Успенского, коридорный метод Молчанова, уход в елово-лиственных насаждениях Кравчинского, линейные и полосные рубки ухода и др. По данным А. М. Кожевникова предложено около 50 различных методов рубок ухода. Каждый метод предполагает вырубку определенного количества деревьев в соответствии с установленным режимом выращивания древостоя.

В Республике Беларусь порядок ведения различных видов рубок в лесах, в том числе и рубок ухода, строго регламентированы рядом нормативно-правовых актов и, прежде всего, Правилами рубок леса [1].

Наличие разнообразных лесорастительных условий, в которых произрастают дубовые насаждения, сильное варьирование составов требует особого подхода к определению режима выращивания дубрав. В этой связи сотрудниками Института леса НАН Беларуси и кафедры лесохозяйственных дисциплин ГГУ им. Ф. Скорины в рамках выполнения Государственных научно-технических программ разработаны режимы лесовыращивания сосново-, елово- и мягколиственно-дубовых насаждений. Для обеспечения нормативных показателей древостоев в процессе проведения рубок ухода необходимо использовать наиболее эффективные технологии и технические средства.

Рекомендуемые технологии и системы машин и механизмов для применения на рубках ухода в дубовых молодняках основаны на всестороннем изучении существующих и применяемых в республике, а также учитывают современные тенденции и требования программных документов по развитию лесного хозяйства на ближайшую перспективу [2, 3].

Объекты и методы исследования

Методика исследований базировалась на общепринятых лесоводственных и биоэкологических методах [4]. Анализ материала проводился системно [5].

Объектами исследования являлись смешанные хвойно- и дубово-мягколиственные молодняки естественного и искусственного происхождения с различным долевым участием главной и сопутствующих пород.

При разработке технологий рубок ухода в молодняках исследования проводились в трех направлениях.

1 для обобщения практического опыта проведения рубок ухода в дубравах республики была разработана и разослана во все лесхозы Беларуси анкета. Результаты анкетирования полу-

чены из Комаринского, Октябрьского, Чечерского, Светлогорского, Мозырского лесхозов Гомельского ПЛХО; Кобринского лесхоза Брестского ПЛХО; Копыльского, Логойского, Борисовского лесхозов Минского ПЛХО; Дятловского, Слонимского, Гродненского лесхозов Гродненского ПЛХО; Толочинского, Суражского, Шумилинского, Полоцкого лесхозов Витебского ПЛХО; Костюковичского, Краснопольского, Могилевского лесхозов Могилевского ПЛХО;

2 учитывались современные тенденции в развитии технических средств для рубок ухода в молодняках;

3 технология рубок ухода разрабатывалась таким образом, чтобы она соответствовала программам формирования и выращивания дубовых молодняков.

Результаты и их обсуждение

В составе лесов Беларуси дуб выступает в двух фитоценообразующих ролях:

- как основной лесообразователь, формирующий фитоценозы формации дубовых лесов;
- как примесь в составе насаждений других лесных формаций.

В первом случае дуб выступает в роли доминанта и его участие в составе насаждений составляет 30 % и более. Общая площадь составляет более 270 тыс. га. Участие других пород имеет подчиненное или содоминирующее значение.

В качестве примеси в составе насаждений других формаций доля дуба может составлять 1-20 %. Общая площадь насаждений с примесью дуба – примерно 300 тыс. га.

Дубравы, занимая богатые местообитания, находятся в зоне повышенной фитоценотической конкуренции. Исследования показывают, что спустя 3-5 лет после создания культур дуба вырубки интенсивно зарастают различными (до 15 видов) древесно-кустарниковыми породами, численность которых в среднем достигает 30 тыс. шт. на 1 га. Возобновление в основном последующее. Количество его в 6-15 раз больше, чем вводимое число дуба. Доля полезных спутников дуба в общем количестве возобновления составляет всего 10-15 %. В таких условиях лишь при регулярном, своевременном, интенсивном и технически грамотном проведении рубок ухода можно сформировать хозяйственно-целесообразные, главным образом, смешанные по составу и сложные по форме дубовые насаждения.

Полномасштабное проведение рубок ухода в дубовых молодняках тесно связано с уровнем механизации лесного хозяйства. Машины, применяемые на рубках ухода, должны удовлетворять требованиям по производительности и возможности выполнения программ рубок ухода при минимальных повреждениях оставляемого на дорастивание древостоя и почвенного покрова. Некачественное проведение рубок ухода или применение неподходящих машин приводит к резкому увеличению отпада, к ветровалу и другим нежелательным последствиям.

В смешанных культурах первый уход начинают как только обнаружится угроза загнивания дуба, примерно на 3-5-й год. Самые ранние осветления проводят в культурах дуба на нераскорчеванных вырубках, где ранее произрастали мягколиственные породы.

При проведении осветлений вырубает затеняющие дуб древесные и кустарниковые породы – осину, березу, граб, лещину и др. Ценные спутники дуба (ясень, липа, клен) оставляют.

В естественных дубовых молодняках осветлениями необходимо выводить семенной дуб и ясень в верхний полог и создавать сложные по форме древостои со вторым ярусом. Кустарники, второстепенные породы, заглушающие дуб, вырубает.

Прочистки в естественных молодняках проводят с целью удаления нежелательной примеси сопутствующих пород, улучшения условий роста дуба и регулирования его количества. Второстепенные породы (ива, береза, осина, ильмовые), в зависимости от доли их участия в составе насаждения, вырубает полностью или частично. Ценные спутники дуба, не затеняющие дуб, оставляют.

В рядовых культурах при прочистках продолжают уход в рядах дуба и формирование желательной структуры насаждения. При этом второй ярус и подлесочные породы сохраняют в качестве «шубы» или подгона для дуба. Вырубает сильно отставшие в росте, больные, поврежденные, искривленные и с другими пороками экземпляры дуба.

Обобщенная технология проведения осветлений и прочисток в дубовых молодняках приведена в таблице, а схематическое изображение на рисунках 1-7.

Таблица – Технология рубок ухода в дубовых молодняках

Лесные культуры	Естественные насаждения	
	с равномерным размещением главной породы	с неравномерным размещением главной породы
1	2	3
Осветления в смешанных и сложных молодняках		
В мягколиственно-дубовых насаждениях, а также в сосново-дубовых (елово-дубовых) с обильным возобновлением мягколиственных пород: 1 Срезание нежелательной древесной и кустарниковой растительности ручным мотокусторезом вокруг главной породы в рядах с оставлением срезанной древесины у пня (сбор в кучи, измельчение и разбрасывание по площади) для перегнивания (рисунок 1). 2 Срезание нежелательной древесной и кустарниковой растительности ручным мотокусторезом в междурядьях и рядах с оставлением срезанной древесины у пня (сбор в кучи; измельчение и разбрасывание по площади) для перегнивания (рисунок 2). 3 Срезание нежелательной древесной и кустарниковой растительности тракторным кусторезом (фрезой, мульчером) в междурядьях с измельчением ее на щепу и оставлением для перегнивания и ручным мотокусторезом в рядах с оставлением срезанной древесины у пня для перегнивания (рисунок 3). В елово-дубовых (сосново-дубовых) насаждениях: 4 Срезание нежелательной древесной и кустарниковой растительности ручным мото-	В мягколиственно-дубовых насаждениях: 1 Срезание нежелательной древесной и кустарниковой растительности ручным мотокусторезом вокруг главной породы с оставлением срезанной древесины у пня (сбор в кучи; измельчение и разбрасывание по площади) для перегнивания (рисунок 6). В елово-дубовых (сосново-дубовых) насаждениях с групповым (куртинным) расположением дуба и ели (сосны), количество деревьев главных пород соответствующее оптимальному значению: 2 Срезание нежелательной древесной и кустарниковой растительности тракторным кусторезом (фрезой, мульчером) взаимноперпендикулярными коридорами с формированием биогрупп и измельчением срезанной древесины на щепу и оставлением ее для перегнивания (рисунок 7). В елово-дубовых (сосново-дубовых) насаждениях с групповым (куртинным) расположением дуба и ели (сосны), количество деревьев главных пород превышает значение в программе, группы (куртины) перегущены:	В мягколиственно-дубовых насаждениях: 1 Срезание нежелательной древесной и кустарниковой растительности ручным мотокусторезом вокруг главной породы с оставлением срезанной древесины у пня (сбор в кучи; измельчение и разбрасывание по площади) для перегнивания (рисунок 6). В елово-дубовых (сосново-дубовых) насаждениях с групповым (куртинным) расположением дуба и ели (сосны), количество деревьев главных пород превышает значение в программе, группы (куртины) перегущены:

Окончание таблицы

1	2	3
кусторе́зом в междурядьях с оставлением срезанной древесины для перегнивания или со сбором и складированием срезанной древесины у технологического коридора для дальнейшего использования. 5 Срезание нежелательной древесины и кустарниковой растительности тракторным кусторезом (фрезой, мულчером) в междурядьях с измельчением ее на щепу и оставлением для перегнивания (рисунок 4).	шириной 3-4 м с оставлением таких же кулис и измельчением срезанной древесины на щепу и оставлением для перегнивания (рисунок 5).	3 Срезание нежелательной древесной и кустарниковой растительности тракторным кусторезом (фрезой, мулчером) взаимноперпендикулярными коридорами с формированием биогрупп, измельчением срезанной древесины на щепу, оставлением ее для перегнивания и ручным мотокусторезом внутри биогрупп с оставлением срезанной древесины у пня для перегнивания.
Прочистки в смешанных и сложных молодняках		
1 При отсутствии ликвидной древесины – аналогично осветлениям.		
2 При наличии товарной древесины валка деревьев производится бензопилами мощностью 2, 0-2, 7 кВт в междурядьях вдоль рядов культур. Очистка деревьев от сучьев и раскряжевка хлыстов выполняется на лесосеке бензопилами. Трелевка древесины производится малогабаритными трелевочными тракторами с тросо-чокерным оборудованием по междурядьям. Порубочные остатки и неликвидная древесина складываются в кучи либо измельчаются и разбрасываются для перегнивания, или собираются и складываются у технологического коридора для дальнейшего использования. В сырых условиях порубочные остатки используются для укрепления технологических коридоров.	2 При наличии товарной древесины технологические коридоры прокладываются через 20 или 40 м шириной 3 м. При этом используются полосы, прорубленные при проведении осветлений. Валка деревьев производится бензопилами мощностью 2, 0-2, 7 кВт в просветы между растущими деревьями на технологический коридор, вершиной в направлении трелевки. Очистка деревьев от сучьев и раскряжевка хлыстов выполняется на лесосеке бензопилами. Трелевка древесины производится малогабаритными трелевочными тракторами с тросо-чокерным оборудованием. Порубочные остатки и неликвидная древесина складываются в кучи либо измельчаются и разбрасываются для перегнивания, или собираются и складываются у технологического коридора для дальнейшего использования. В сырых условиях порубочные остатки используются для укрепления технологических коридоров.	
3 При использовании тракторов с оборудованием для бесчокерной трелевки или погрузочно-транспортных машин товарная древесина окущивается у технологического коридора. При необходимости выполняется подсортировка древесины.		

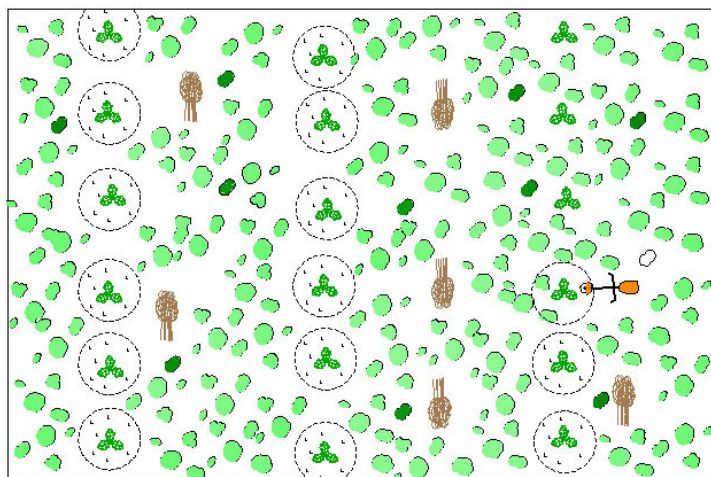


Рисунок 1 – Схема проведения осветлений в дубовых молодняках искусственного происхождения с обильным возобновлением мягколиственных пород (первый прием)

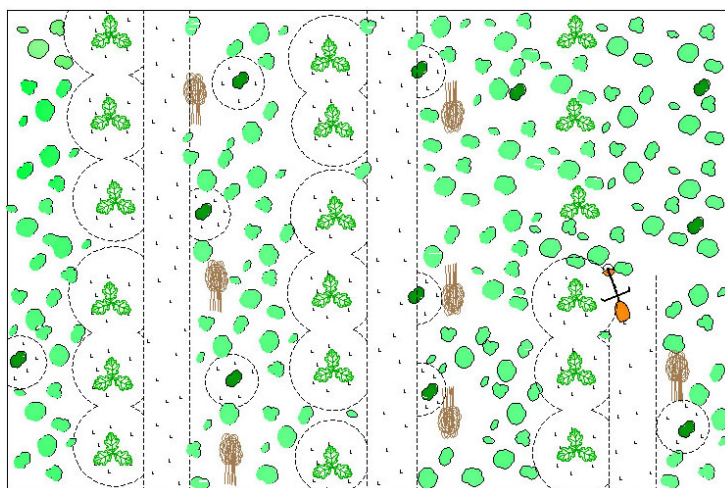


Рисунок 2 – Схема проведения осветлений в дубовых молодняках искусственного происхождения с обильным возобновлением мягколиственных пород (второй прием)

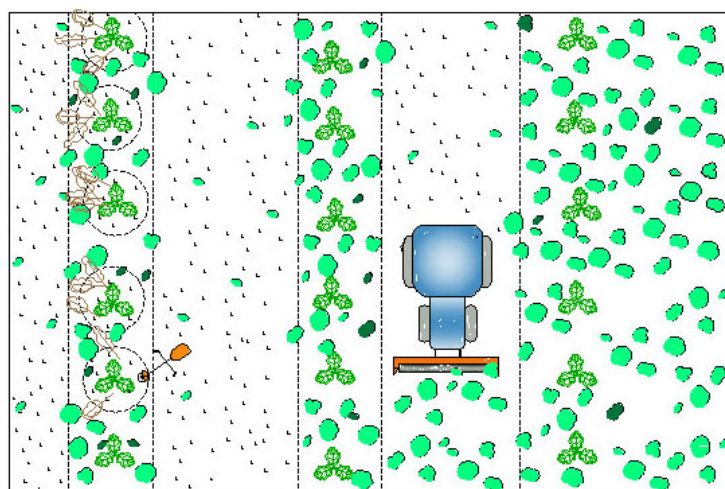


Рисунок 3 – Схема проведения осветлений в междурядьях и рядах дубовых молодняков искусственного происхождения с обильным возобновлением мягколиственных пород

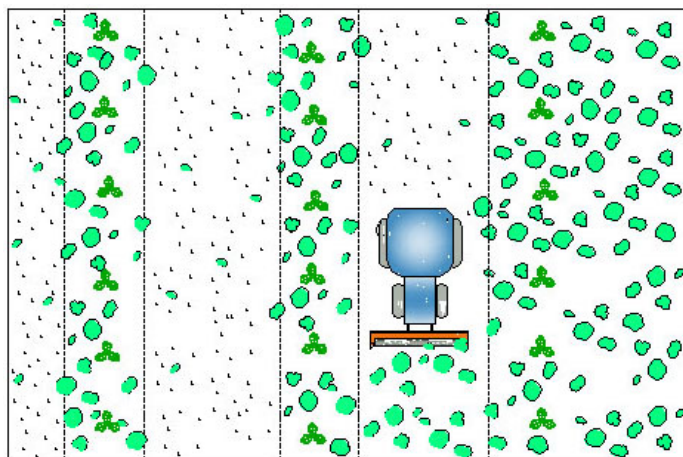


Рисунок 4 – Схема проведения осветлений в междурядьях дубовых молодняков искусственного происхождения с умеренным возобновлением мягколиственных пород

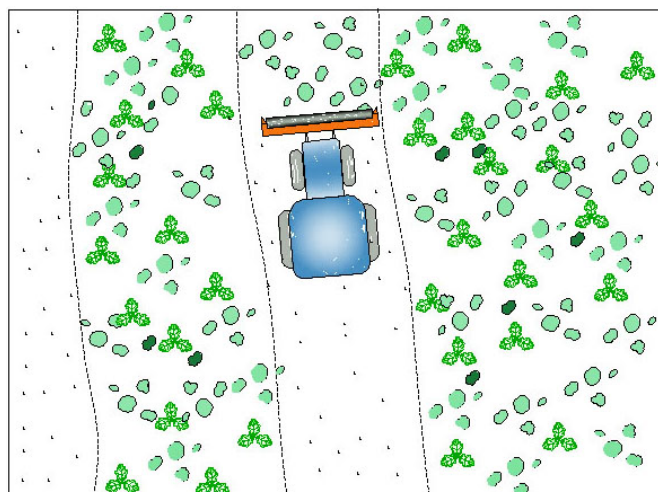


Рисунок 5 – Схема проведения осветлений в сосново-дубовых (елово-дубовых) насаждениях естественного происхождения с достаточным количеством главных пород (первый и второй приемы)

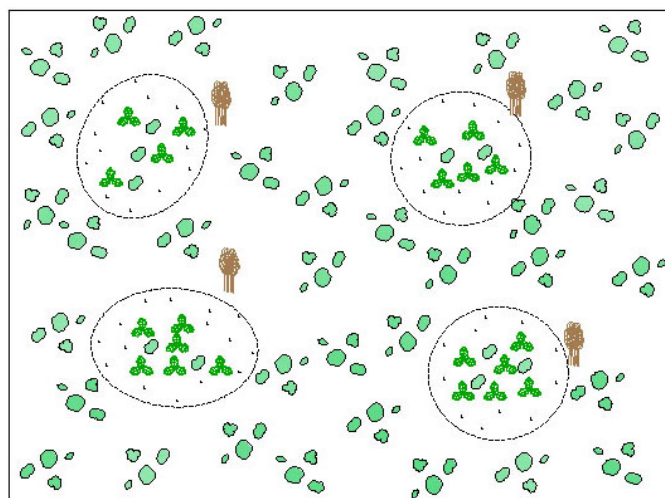


Рисунок 6 – Схема проведения осветлений в мягколиственно-дубовых насаждениях естественного происхождения с групповым расположением главной породы по площади (первый и второй приемы)

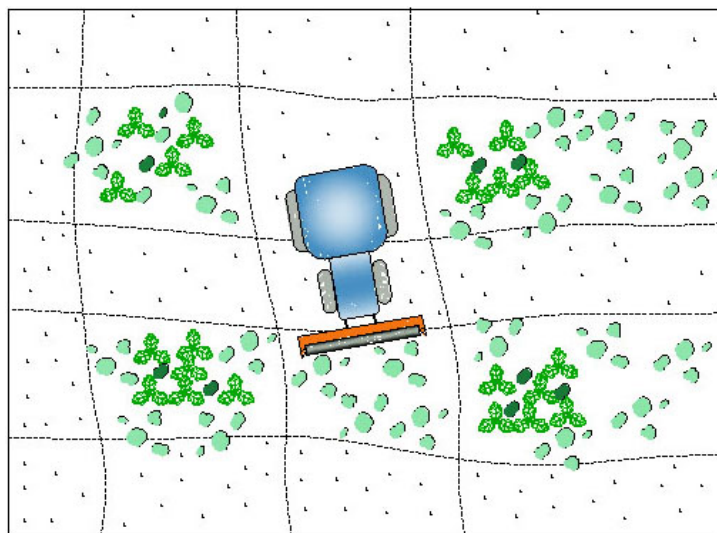


Рисунок 7 – Схема проведения осветлений с образованием биогрупп в елово-дубовых (сосново-дубовых) насаждениях с групповым (куртинным) расположением дуба и ели (сосны) естественного происхождения (первый и второй приемы)

Заключение

Рекомендованные технологические приемы проведения рубок ухода в дубовых молодняках будут способствовать созданию благоприятных условий для роста главной породы и формирования хозяйственно-целесообразных древостоев. Они одобрены Министерством лесного хозяйства и утверждены в качестве нормативного документа «Рекомендации по формированию смешанных дубовых насаждений».

Литература

1. Правила рубок леса в Республике Беларусь / ТКП 143-2008 (02080). Утвержден и введен в действие постановлением МЛХ РБ от 30. 09. 2008 г. № 27. – Минск, 2008. – 92 с.
2. Государственная программа развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 03. 11. 2010 № 1626). – Минск, 2010. – 28 с.
3. Программа развития и технического перевооружения лесозаготовительного производства на 2011-2015 годы. – Минск, 2010. – 31 с.
4. Сукачев, В. Н. Основы лесной типологии и биоценологии / В. Н. Сукачев. – М.: Наука, 1972, т. 1. – 418 с.
5. Буш, К. К. Применение системного анализа в лесоведении / К. К. Буш, И. К. Иевинь // Лесоведение. – 1975. – № 1. – С. 15-19.

Выявление степени зараженности промежуточных хозяев возбудителями описторхоза на территории ПГРЭЗ

И. В. КУРАЧЕНКО, И. С. ЮРЧЕНКО, А. Н. ЛЫСЕНКО

Приводятся данные о степени зараженности партенитами *O. felineus* брюхоногих моллюсков водоемов на территории ПГРЭЗ. Полученные в 2010 году данные позволяют сделать вывод о неблагоприятном эпидемиологическом состоянии обследованных водоемов в отношении описторхоза. Индикатором неблагоприятия служат показатели зараженности моллюска *Bithynia leachi* личинками кошачьей двуустки, являющегося источником инвазии во всех пунктах исследования.

Ключевые слова: описторхоз, степень зараженности, *Bithynia leachi*, Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, гепатопанкреас, партениты, интенсивность инвазии

The article gives the data about the rate of parthenit *O. felineus*'s contamination of gastropod mollusks in PSRER reservoirs. The data received in 2010 allow drawing the conclusion about an unfavourable epidemiological condition of the surveyed reservoirs in terms of opisthorchiasis. The trouble indicator is mollusk *Bithynia leachi*'s contamination by cat liver fluke's larvae being an invasion source in all points of research.

Key words: opisthorchiasis, contamination rate, *Bithynia leachi*, Poleskii state radiation-ecological reserve, hepatopancreas, parthenit, invasion intensity.

Введение

Описторхоз (*Opisthorchis felineus*) относится к природно-очаговым инвазиям. Эндемичные территории совпадают с ареалами распространения промежуточных хозяев. Очаги описторхоза дифференцируют на антропоургические, природные и смешанные.

Первые сообщения об описторхозе на территории Беларуси относятся к 1960 году. Описторхоз среди людей выявляется преимущественно в населенных пунктах, расположенных в бассейнах рек Припяти, Днепра, Березины, Западной Двины. На этих же территориях выявляется наибольшая пораженность моллюсков и рыб личинками описторхид. Описторхозом поражаются люди различного возраста, но наиболее часто – лица в возрасте 20-40 лет. Причиняемый данным гельминтозом в различных регионах социально-экономический ущерб год от года возрастает, что не может не отразиться на общем уровне здоровья местного населения. Такая распространенность инвазии, продолжительность жизненного цикла паразитов (30 лет и более) в организме хозяина, многообразие вызываемых ими клинических проявлений, серьезность осложнений определяют актуальность данной проблемы, необходимость поиска путей ее решения.

В первую очередь такой поиск должен быть направлен на повышение эффективности существующих и не обеспечивающих полноценной дегельминтизации профилактических мер. Известно, что в любой паразитарной системе необходимо предотвратить инвазию окончательного хозяина. В случае описторхозов необходим контроль степени инвазированности промежуточных хозяев – пресноводного моллюска битинии (*Bithynia leachi*) и дополнительных хозяев – рыб семейства карповых: язь, елец, чебак, плотва европейская, вобла, линь, красноперка, сазан, лещ, жерех, лещ, усач, подуст, укля, карась и др. [1-6].

Цель исследований состоит в более глубоком и комплексном исследовании паразитофауны промежуточных хозяев описторхид. Задачами исследования являются:

- контроль степени инвазированности промежуточных хозяев – пресноводного моллюска битинии (*Bithynia leachi*);
- изучение количественных популяционно-видовых характеристик битинии (*Bithynia leachi*) в исследуемых водоемах.

Материалы и методы

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ) – огромная территория (216,2 тыс.га) со строгим охранном режимом по причине ее радиоактивного загрязнения. Снятие антропогенной нагрузки обеспечивает здесь естественность протекания природных процессов, восстановление природных ландшафтов Полесья, благоприятно сказывается на состоянии популяций фоновых видов териофауны, которые являются дефинитивными хозяевами описторхид. Главная река Полесья Припять, протяженностью около 80 км, пересекает территорию заповедника с северо-запада на юго-восток. В ней обитает большая часть видового состава карповых рыб Беларуси.

Поиск и сбор моллюсков осуществлялся в десяти точках на территории ПГРЭЗ с 12 июля по 6 августа в период их массовой активности (рисунок 1). Температура воды в водоемах колебалась от 20° до 27°C.

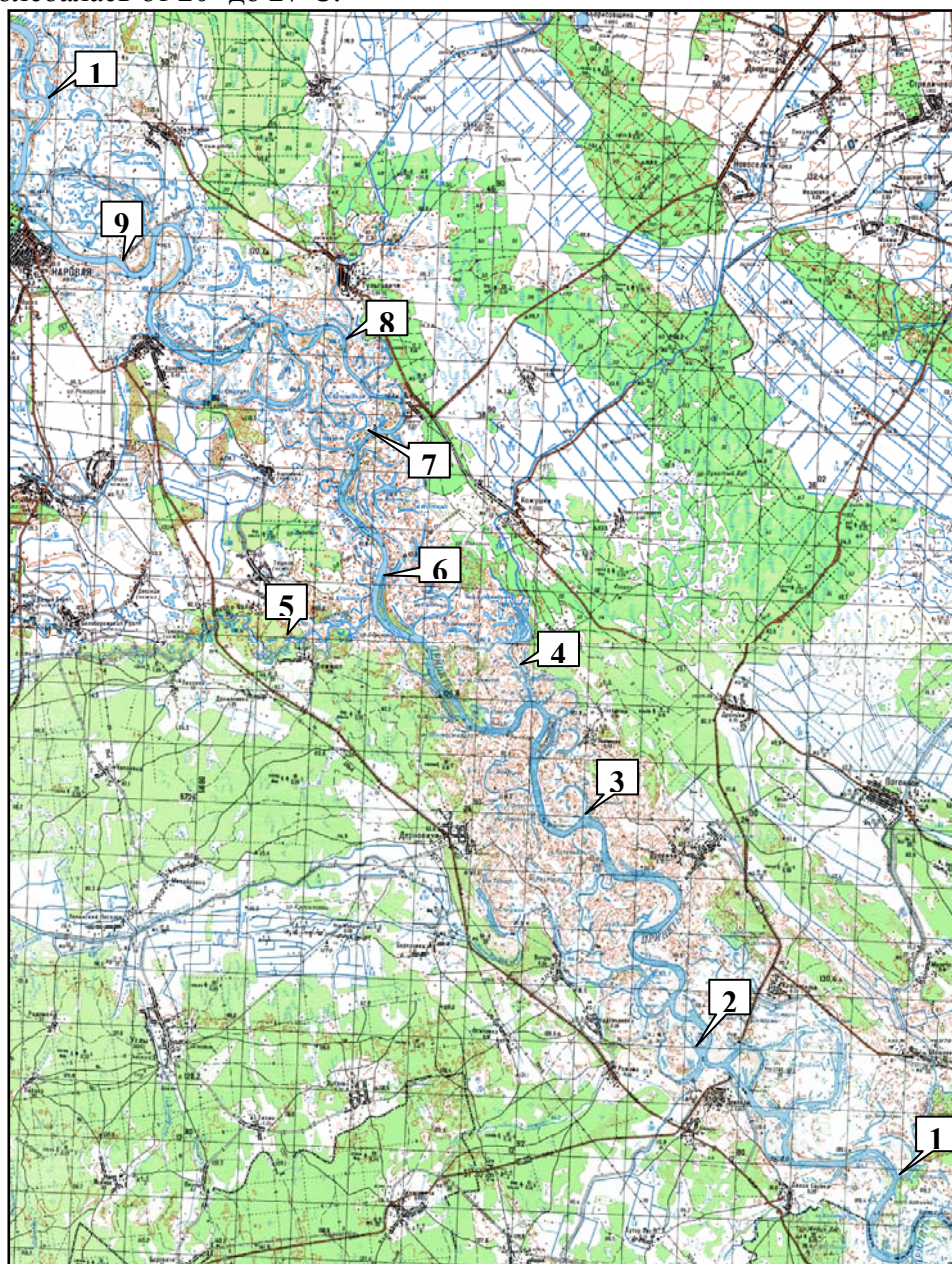


Рисунок 1 – Карта-схема мест отбора моллюска на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

При поиске моллюсков осматривались крупные погруженные в воду предметы, с которых аккуратно собирались моллюски. Бентосным сачком (диаметр обода 33 см) с лодки и

берега облавливалась площадь 5 м^2 на расстоянии 2 м от берега. Для этого сачок несколько раз проводился под углом 45° по водным растениям на глубине 20 – 50 см. Транспортировка моллюсков в лабораторию проводилась в термосах с предварительно охлажденной водой. В лаборатории доставленные моллюски помещались в аквариумы емкостью 5 л. При этом рацион кормления состоял из сухого корма для рыб. Вследствие невозможности быстрой обработки материала из шести точек отлова моллюски помещались в морозильную камеру и впоследствии проводилась камеральная обработка в лаборатории.

Паразитологическое исследование проводилось компрессионным методом. Для этого препаровальной иглой отделялось 2 – 3 первых оборота раковины, извлекалась пищеварительная железа (гепатопанкреас). У инвазированных моллюсков гепатопанкреас рыхлый, беловато-желтый, тогда как у интактных особей он упругий, темно-коричневого цвета. Пищеварительная железа помещалась на предметное стекло в каплю воды, накрывалась покровным стеклом, слегка раздавливалась и микроскопировалась под световым микроскопом при малом увеличении [7-9].

Интенсивность инвазии моллюска определялась по числу сформированных партенит (спороцист, редий). Для последующих морфологических исследований гепатопанкреас моллюска фиксировался в 70% растворе $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Результаты и их обсуждение

Битинии поселяются в прибрежных зонах небольших, с медленным течением рек, заливов и проток. Это частично пересыхающие пойменные эвтрофные водоемы, заливаемые во время весенних паводков и по мере спада воды, обособляющиеся от русла реки (рисунок 2).

Мелкие, хорошо прогреваемые места поселений битиниид богаты высшей водной растительностью (осоки, стрелолист, частуха, кубышка желтая, кувшинка белая, рдесты, роголистник) и имеют умеренно илистый донный грунт с чистой, без запаха аммиака и сероводорода водой.



Точка № 1



Точка № 8

Рисунок 2 – Места наименьшего (№1) и наибольшего (№2) отбора битиниид

Места обитания моллюсков (биотопы) весьма разнообразны. Их можно подразделить на постоянные и временные. Битиниида имеет на территории заповедника широкое распространение (незатененные берега ручьев, рек, заболоченностей, мелких прудов и т. д.). Наиболее часто они встречаются на почвах, бедных гумусом. В таких биотопах растительность представлена осокой, стрелолистом, частухой, кубышкой желтой, кувшинкой белой, рдестой, роголистником и др. Плотность популяции битинии в таких биотопах колеблется от единицы до 116 экз/м^2 . Встречаются битинии и во временных биотопах — лужах, мочажинах, придорожных канавах, следах копыт животных на низинных местах охотугодий, вольеров, в оврагах, ложбинах, на границе минеральных почв с заболоченными участками пойм ручьев. Наличие этих биотопов зависит от обилия дождевой воды и степени просачивания грунтовых вод. Плотность моллюсков в таких местообитаниях небольшая — 10-15 особей на 1 м^2 , но в

дождливое время их количество увеличивается и доходит до нескольких сот экземпляров. Битиния слабо подвижна, поэтому расселение особей происходит с паводковыми и дождевыми водами. Битинидам свойственно образовывать скопления на сравнительно небольших участках внутри водных биотопов. В местах таких скоплений плотность их может достигать 300 и более экз/м², в то время как в других участках их меньше либо нет совсем. Тенденция к образованию скоплений моллюсков стойкая, сохраняется на протяжении летнего сезона и часто в течение ряда лет. В скоплениях может быть сосредоточено до 85 и более процентов особей популяции. Моллюск откладывает яйца на влажной почве, камнях, водной растительности, в воде. В каждой кладке содержится от 1 до 30 яиц.

За период с августа по декабрь 2010 года были проведены гельминтологические исследования моллюска *Bithynia leachi* на выявление степени зараженности гельминтами. Исследовано 500 экземпляров битиниид из 10 точек отбора. Плотность популяции битинии по местам отбора от 2 до 116 экз/м². В основу математической обработки исследуемого материала положен метод количественного учета зоологических паразитических данных [9].

Для анализа материалов, полученных в результате исследований, были применены следующие статистические показатели [9]:

■ Экстенсивность инвазии (встречаемость, или индекс встречаемости) – выражается в процентах и показывает относительное количество особей вида-хозяина, зараженных гельминтами по отношению ко всему числу исследованных особей. Экстенсивность инвазии (E) рассчитывается по формуле

$$E = n / N \times 100 \%,$$

где n – число зараженных особей хозяев; N – число исследованных особей хозяев.

■ Индекс обилия – среднее число особей данного вида, приходящееся на единицу учета. При учете гельминтов первой естественной единицей учета служит особь хозяина, и в этом случае индекс обилия выражает среднее число особей гельминтов на одну особь хозяина. Индекс обилия (M) рассчитывается по формуле

$$M = m / N,$$

где m – число обнаруженных гельминтов в исследованной выборке хозяев; N – число исследованных особей хозяев.

■ Интенсивность инвазии – среднее число гельминтов, рассчитанное на одну особь зараженного хозяина. Интенсивность инвазии (I) рассчитывается по формуле

$$I = m / n,$$

где m – число обнаруженных гельминтов в исследованной выборке хозяев; n – число зараженных особей хозяев.

Экстенсивность инвазии 40 % и 44 % наблюдается у моллюсков из точек отбора № 6 и № 9; в точках № 1, № 2, № 10 экстенсивность составила от 50 % до 58 %; экстенсивностью в пределах 60 % – 68 % характеризуются точки № 3, № 4, № 5, № 8 и в точке № 7 экстенсивность инвазии составила 78% (таблица 1).

Таблица 1 – Экстенсивность и интенсивность инвазии описторхид

№ участка	Кол-во, n	lim	$\bar{X} \pm m_x$	σ	E, %	M, особей	I, особей
1	50	0-23	2,04±0,57	4,03	52	2,04	3,92
2	50	0-31	3,04±0,76	5,37	58	3,04	5,24
3	50	0-18	3,06±0,56	3,99	68	3,06	4,50
4	50	0-10	2,72±0,45	3,20	64	2,72	4,25
5	50	0-10	2,64±0,44	3,12	64	2,64	4,13
6	50	0-10	1,38±0,34	2,37	40	1,38	3,45
7	50	0-21	5,80±0,82	5,79	78	5,80	7,44
8	50	0-34	4,20±0,92	6,49	60	4,20	7,00
9	50	0-7	1,62±0,32	2,25	44	1,62	3,68
10	50	0-19	3,86±0,76	5,38	50	3,86	7,72

На одного зараженного моллюска приходится от 1 до 34 партенит *O. felineus*. В среднем по точкам численность партенит колебалась от 1,38 до 5,80 паразитов. В седьмой точке отбора, где было максимальное число зараженных особей моллюска, выявлен и наибольший индекс обилия.

Интенсивность инвазии от 3 до 4 особей наблюдалась в трех точках (№1, № 6, № 9); от 4 до 5 особей – в трех точках (№ 3, № 4, № 5); 5,241 особей – в одной точке (№ 2); в трех точках (№7, № 8, № 10) интенсивность инвазии была более чем семь паразитов.

Наибольшее различие индекса обилия среди точек отбора при $P=0,05$ было выявлено между точками № 6 и № 7 (таблица 2).

Таблица 2 – Достоверность разницы индекса обилия между точками отбора моллюсков

точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	х									
2	1,053	х								
3	1,272	0,021	х							
4	0,934	0,362	0,470	х						
5	0,832	0,455	0,587	0,127	х					
6	0,998	2,00	2,560	2,378	2,278	х				
7	3,766	2,470	2,754	3,289	3,395	4,990	х			
8	1,997	0,973	1,057	1,444	1,530	2,881	1,299	х		
9	0,643	1,725	2,224	1,988	1,877	0,519	4,754	2,652	х	
10	1,914	0,763	0,844	1,288	1,388	2,982	1,735	0,285	2,717	х

Изучение факторов, обуславливающих это различие, не входило в задачу исследований. Это может быть характер береговой линии, тип водной и прибрежной растительности, частота посещаемости дефинитивными хозяевами. Знание этих факторов может явиться важным для разработки эффективных профилактических мероприятий.

Заключение

Зараженность трематодами моллюска *Bithynia leachi*, обитающего в реке Припять на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, обследуется впервые. В результате исследований, проведенных в 2010 году, установлено, что интенсивность инвазии по реке Припять колебалась от 3,45 личинок в точке № 6 до 7,72 в точке № 10.

Наибольшая экстенсивность инвазии наблюдается у моллюсков из седьмой точки отбора (близ бывшего населенного пункта Ломачи) – 78 % (39 моллюсков из 50 были заражены *O. felineus*), наименее заражены – моллюски из шестой точки (урочище третья Боровая) – 40 % (20 из 50). Значение показателя индекса обилия составило от 1,38 до 5,8 особей. Партенидами *O. felineus* оказались заражены 289 особей моллюска, что составило 58 % от общего числа обследованных.

Полученные в 2010 году данные позволяют сделать вывод о неблагоприятном эпизоотическом состоянии обследованных водоемов в отношении описторхоза. Индикатором неблагоприятия служат показатели зараженности моллюска *Bithynia leachi* личинками кошачьей двуустки, являющегося источником инвазии во всех пунктах исследования.

Описторхиды обладают весьма выраженным и эволюционно закрепленным признаком – полигостальностью. Эта особенность определяет наличие широкого спектра дефинитивных хозяев, среди которых ключевую роль играют околотовные хищные животные. По данным научного отдела экологии фауны ПГРЭЗ, численность бобра на территории заповедника в течение 2005–2010 гг. колебалась в пределах 1700–1800 особей; численность лисицы – 290–300 особей; енотовидной собаки – 600–610 особей.

Требуется выяснения вопрос, кому из диких хищных животных принадлежит ведущая роль в накоплении и рассеивании инвазионных личинок, а следовательно, и в поддержании большого значения индекса обилия.

Для профилактики описторхоза рекомендуется комплекс мероприятий:

- использование биологических методов борьбы с моллюсками;
- обязательное обследование рыбы на зараженность метацеркариями описторхиса;
- полную гибель метацеркариев в рыбе обеспечивает вакуумная сушка ее при температуре +50-55°C, замораживание рыбы в течение 15 суток при температуре -15°C;
- не скармливать сырую рыбу из семейства карповых плотоядным животным;
- санитарные мероприятия по охране почвы от загрязнения фекалиями.

В условиях Полесского радиационно-экологического заповедника, где запрещен промышленный лов рыбы, следует охранять от браконьеров прибрежные территории.

Исследования проводились в рамках темы ГБ 11-32 «Разработка молекулярно-генетических технологий для диагностики возбудителей описторхоза и других видов описторхид в окончательных и промежуточных хозяевах».

Авторы выражают благодарность начальнику сектора охраны ПГРЭС А. С. Бондарю за помощь при выявлении мест обитания битинид и ведущему научному сотруднику отдела экологии фауны ПГРЭС к. в. н В. А. Пенькевичу за консультирование при гельминтологических исследованиях моллюсков.

Литература

1. Шевцов, А. А. Паразитология / А. А. Шевцов, В. И. Смирнов, И. В. Павлова; под ред. Н. И. Емельянова. – М.: Агропромиздат, 1984. – 411 с.
2. Ромашов, Б. В. / Тип плоские черви. Класс сосальщики: учебн. пособ. / Б. В. Ромашов, О. Н. Бережнова, Е. И. Труфанова, Н. Б. Ромашова. – Воронеж: 2004. – 47 с.
3. Бэр, С. А. Биология возбудителей описторхоза / С. А. Бэр. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 336 с.
4. Сидоров, Е. Г. Природная очаговость описторхоза / Е. Г. Сидоров. – КазССР, Алма-Ата: Наука, 1983. – 240 с.
5. Фаттахов, Р. Г. Экология паразитарных систем описторхид Обь-Иртышского бассейна в условиях антропопрессии (на примере *Opisthorchis felinus* Rivolta, 1884; *Metorchis bilis* Braun, 1890 и *Metorchis xanthosomus* Creplin, 1846) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук, Тюмень. 1996. – 50 с.
6. Пельгунов, А. Н. к вопросу о природной очаговости описторхоза / А. Н. Пельгунов // Паразитология в XXI веке – проблемы, методы, решения: Материалы IV Всероссийского Съезда Паразитологического общества при Российской академии наук. – в 3 частях. – Ч. 3. – под редакцией К. В. Галактионва и А. А. Добровольского, Санкт-Петербург: «Лема», 2008. – с. 26-29.
7. Судариков, В. Е. Метацеркарии трематод – паразиты пресноводных гидробионтов Центральной России / Судариков В. Е., Шигин А. А., Курочкин Ю. В. и др.; под ред. В. И. Фрезе. – М.: Наука, 2002. – 298 с.
8. Акбаев, М. Ш. Паразитология и инвазионные болезни животных: метод. указ. / М. Ш. Акбаев, Ф. И. Василевич, Н. Н. Евплов, В. Г. Меньшиков, О. Е. Давыдова, под ред. М. Ш. Акбаева. – М.: МГАВМиБ им. К. И. Скрябина, 2002. – 61 с.
9. Ромашов, Б. В. Методика гельминтологических исследований позвоночных животных: учебное пособие / Б. В. Ромашов, Л. Н. Хицова, Е. И. Труфанова, Н. В. Ромашова. – Воронеж, 2003. – 35 с.

УДК 502.51 : 504.5 : 549.25/29 (476.2-25)

Загрязнение воды водоемов Гомеля и прилегающих территорий тяжелыми металлами

Т. В. МАКАРЕНКО

Общая тенденция содержания тяжелых металлов в поверхностных водах изучаемых водоемов и водотоков выражается в следующем ряду: $Mn > Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > Co$.

Основными загрязнителями воды водоемов и водотоков являются никель, хром и кобальт (в сравнении с фоном). Увеличение содержания отдельных металлов на участке реки в городской черте свидетельствует о загрязнении речной воды поверхностным стоком г. Гомеля. Снижение количества загрязнителей в воде реки, отобранной ниже впадения городских стоков, свидетельствует о том, что в бассейне р. Сож имеется достаточное количество водных ресурсов для разбавления сточных вод.

Ключевые слова: поверхностные природные воды, тяжелые металлы, антропогенная нагрузка, фоновые концентрации.

The common tendency of heavy metal content in the researched reservoirs and channels' surface waters can be expressed in the following row: $Mn > Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > Co$.

The main water pollutants are nickel, chromium and cobalt (as compared with the background reservoir). The increase of metal content within the city limits reach of river is the result of the river water polluted by Gomel runoff. The decrease of pollutants in the waters being lower than Gomel runoff confluence is the result of the river Sozh having water source adequately (largo manum) to dilute discharged waters.

Key words: surface natural waters, heavy metals, anthropogenic load, background concentrations.

Введение

Ареной развития техно-геохимических аномалий чаще всего являются водные артерии дренирующие города [1], и водоемы городской зоны. Малые водоемы и водотоки городов не включены в систему мониторинга поверхностных вод, они практически не контролируются санитарно-эпидемиологическими службами. Между тем, вопросы функционирования малых водоемов и водотоков рано или поздно возникают перед службами санитарного контроля.

Цель работы – изучить содержание тяжелых металлов в воде водоемов, испытывающих различную антропогенную нагрузку и выявить наиболее загрязненные водоемы черты города.

Материалы и методы

На территории города располагаются водоемы: Дедно, Шапор, Любенское, Малое, У-образное, Волотовское. В пригородной зоне отдыха находятся озера Володькино, Круглое и Гребной канал. Для оценки влияния Гомельской городской агломерации на качество воды р. Сож и способности реки к самоочищению выполнялся отбор проб из реки выше города в районе д. Клёнки, в городской черте в районе парковой набережной и ниже города по течению в районе д. Чёнки. Старица у д. Поляновка (фоновый водоем) расположена на 10 км выше по течению от точки отбора проб на р. Сож у д. Клёнки.

Исследования проводились в 2008-2009 гг. Организованные выпуски промышленных и хозяйственно-бытовых стоков на момент исследований производились только в озёра Шапор и Дедно. Участок реки (д. Ченки), хотя и располагается ниже города, не принимает очищенные стоки Гомельской станции аэрации и загрязняется только поверхностным стоком города, стоком с огородов частного сектора и атмосферными выпадениями.

Отбор проб воды проводился в полиэтиленовые бутылки емкостью 1 л, предварительно (за 2-3 суток) заполненные водой водоемов для насыщения сорбции на стенках [2]. Пробы фильтровались через фильтр «синяя лента» и консервировались добавлением концен-

трированной HNO_3 до $\text{pH} = 2-3$. В большинстве случаев определение содержания тяжелых металлов в воде водоемов проводилось в день отбора проб. Содержание металлов определялось атомно-абсорбционным методом на ААС «Perkin Elmer – 406» [2] в лабораториях КПУП «Гомельводоканал» (г. Гомель).

Результаты и их обсуждение

При исследовании городов выделение аномальных концентраций элементов и их пространственного расположения является одной из ключевых проблем, однозначного решения которой пока нет [1]. В качестве критерия аномальности рекомендуют рассматривать превышение фона в 1,5 раза и более [3]. Для характеристики фона часто используют либо кларковые значения элементов (их природное содержание), либо уровни содержания тяжелых металлов на большом удалении от районов поступления загрязнения в окружающую среду [4]. Российские и белорусские исследователи [4, 5] считают, что «определение природных фоновых уровней или доиндустриальных концентраций для оценки загрязнения водоемов – одна из центральных задач проектов, рассматривающих компоненты водоемов как индикатор загрязнения».

В настоящей работе для выбора фонового водоема была применена процедура выделения эталонных створов в соответствии с положениями Европейской Рамочной водной директивы [6]. Старичный комплекс у д. Поляновка Ветковского района был предположительно выбран в качестве локального (местного) фонового водоема с наименьшим загрязнением и проведен сравнительный анализ содержания металлов в компонентах старичного комплекса с данными, полученными для остальных изученных водоемов. Для этого рассчитаны значения коэффициентов загрязнения:

$$K_z = \frac{C_i}{C_{\text{фон}}},$$

где K_z – коэффициент загрязнения; C_i – концентрация металла в компонентах изучаемого водоема; $C_{\text{фон}}$ – концентрация металла в компонентах фонового водоема [6].

Средние значения коэффициентов загрязнения ($K_{\text{заг}}$) оказались выше единицы. Следовательно, в качестве фонового водоема можно выбрать старичный комплекс у д. Поляновка Ветковского района (в таблицах обозначен как «фоновый водоем»).

Содержание тяжелых металлов в воде изучаемых водоемов существенно варьирует как в пределах одного водоема, так и в различных водоемах (таблица 1). Это является следствием нестационарности поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком с городских территорий, которое может привести к кратковременному массивному загрязнению вод. Среди рассматриваемых металлов значительные отличия в содержании в различных водоемах характерны для хрома и никеля: их максимальная концентрация превышает минимальный показатель более чем в 7 раз. Наименьшая разница показателей между различными водоемами города (1,6 раза) характерна для марганца. Самое высокое колебание концентрации в одном конкретном водоеме отмечено для цинка и хрома: кратность между максимальным и минимальным значением содержания данных металлов составляет в отдельных водоемах 10 раз. Среди водоемов наибольшие вариации содержания элементов определены для оз. У-образное, которое не принимает стоки предприятий и находится в городской зоне отдыха. При изучении водоемов Гомеля коллегами из Минска [1] установлено, что существенные изменения химического состава вод были зафиксированы в водных экосистемах, расположенных в пределах селитебной зоны.

Вода фонового водоема в сравнении с другими изучаемыми водоемами содержит минимальное количество металлов, но данные величины превышают показатели фоновых природных территорий – р. Березина в пределах Березинского заповедника (по данным [6]) в 1,2 раза. Как известно, промышленные аэральные выбросы распространяются на значительные расстояния (более 100 км) [7], что может являться одним из путей поступления

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в воде водоемов и водотоков г. Гомеля и прилегающих территорий

Водоем	Концентрация, мкг/л						
	Cu	Zn	Mn	Co	Cr	Ni	Pb
оз. Малое	11,4±1,3	142,1±5,1	130,2±6,7	15,0±1,3	5,9±0,6	56,1±5,3	11,3±0,8
оз. Круглое	11,0±0,6	100,3±9,1	202,4±16,1	17,4±1,1	5,5±0,5	69,1±5,0	10,0±0,7
оз. У-образное	13,4±0,6	154,3±5,7	175,0±23,2	15,8±1,6	6,5±0,6	60,2±3,5	8,4±1,1
оз. Волоотовское	20,0±1,9	122,3±5,3	193,3±13,2	10,3±0,8	16,0±1,4	69,3±7,3	9,0±0,9
оз. Шапор	14,2±0,7	83,0±3,6	174,0±18,6	14,4±1,1	6,5±0,5	48,3±2,7	10,0±1,0
оз. Дедно	16,4±1,6	92,3±10,5	186,2±8,7	21,4±2,1	7,8±0,7	84,2±1,7	9,3±0,7
оз. Любенское	17,4±1,3	71,0±7,1	147,5±11,5	14,2±1,4	7,9±0,6	77,0±5,6	13,1±1,8
Гребной канал	15,3±0,7	73,1±10,4	176,2±16,1	16,6±2,0	6,9±0,8	41,2±2,7	11,4±0,6
оз. Володькино	16,4±1,0	94,4±11,7	145,1±16,2	12,1±1,1	5,0±0,2	98,4±8,8	9,0±0,5
р. Сож (выше города)	13,9±1,05	113,1±12,6	159,0±12,3	9,3±0,9	4,5±0,3	45,1±4,5	8,6±1,2
р. Сож (центр города)	14,2±1,1	89,2±6,1	151,2±7,4	37,6±3,3	6,5±0,4	98,1±6,9	17,3±1,5
р. Сож (ниже города)	14,8±1,4	86,9±2,1	148,3±14,0	19,2±1,7	5,9±0,4	27,3±2,8	9,6±0,9
Фоновый водоем	8,1±1,3	73,6±2,8	122,1±13,7	7,1±0,8	2,8±0,7	13,5±1,1	8,3±0,7
ДК (питьевая вода) [10]	1000	5000	100	100	500(Cr ³⁺) / 50(Cr ⁶⁺)	100	30
ПДК объекты культурно-бытового водопользования в числителе, рыбохозяйственного назначения в знаменателе [11]	$\frac{1000}{1}$	$\frac{1000}{10}$	$\frac{100}{10}$	$\frac{100}{10}$	$\frac{500(\text{Cr}^{3+}) / 50(\text{Cr}^{6+})}{5(\text{Cr}^{3+}) / 1(\text{Cr}^{6+})}$	$\frac{100}{10}$	$\frac{30}{100}$

загрязнителей в фоновый водоем. По литературным данным, крона деревьев обладает большой сорбирующей способностью и в подкروновые пространства, благодаря этому, поступает больше загрязнителей с атмосферными осадками, чем в межкروновые (различия могут составлять 10 раз) [7]. По берегу фонового водоема располагаются плотные заросли ивы козье, подходящие к самому урезу воды и нависающие над водной гладью. Возможно, значительное количество растительности по берегам водоема и поступление загрязнений из атмосферы послужили причиной повышенных концентраций отдельных элементов в воде фонового водоема в сравнении с данными по р. Березине. Не исключено поступление элементов в водные массы фонового водоема из донных отложений (вторичное загрязнение воды) [8].

Повышенное содержание свинца отмечено в воде озер зоны отдыха – Любенское, Малое и Гребной канал, максимальное количество металла приходится на участок реки в центре города. Вдоль берегов озер Любенское и Малое располагаются крупные автотрассы, по реке в центре города постоянно движутся прогулочные катера и теплоходы, а как известно, даже неэтилированный бензин при горении выделяет соединения свинца [9]. Низкая концентрация элемента характерна для оз. У-образное, где определено максимальное количество свинца в донных отложениях. Возможно, отложения оз. У-образное обладают высокой сорбирующей активностью по отношению к соединениям металлов.

Минимальное содержание свинца отмечается в фоновом водоеме. Для цинка наблюдается противоположная закономерность: его количество в воде оз. У-образное характеризуется наибольшим среди всех водоемов уровнем, а наименьший показатель отмечен для воды оз. Любенское. Причем, в отдельных случаях, водоемы зоны отдыха (озера Круглое, Малое и Волотовское) загрязнены цинком больше, чем водоемы, принимающие стоки. Самая высокая концентрация меди и хрома наблюдается в воде оз. Волотовское, а самые низкие уровни содержания данных металлов зафиксированы, кроме фонового водоема, для оз. Круглое (медь) и участка реки выше города по течению (хром). Загрязнение марганцем констатируется для озер Круглое, Волотовское и Дедно, а низкое количество элемента определено для оз. Малое и фонового водоема. Повышенные концентрации кобальта характерны для водоемов, принимающих поверхностный сток города (озера Малое, У-образное и Любенское) и сточные воды предприятий при максимальном содержании в воде реки на участке в центре города. Из общей картины выделяются водоемы загородной зоны отдыха (Гребной канал и оз. Круглое) с высоким количеством элемента и оз. Волотовское (черта города), вода которого мало загрязнена соединениями металла. Аномально высокая концентрация никеля наблюдается в оз. Володькино и на участке реки в центре города. Кроме атмосферных выпадений, возможное влияние на оз. Володькино оказывает загрязненная вода р. Ипуть, принимающая стоки Добрушской бумажной фабрики. Минимальное содержание никеля отмечается в воде реки на участке ниже города, который испытывает значительную антропогенную нагрузку.

В сравнении с фоновым водоемом металлы располагаются в следующем ряду $Ni_{4,8} > Cr_{2,5} > Co_{2,4} > Cu_{1,8} > Zn_{1,4} \approx Mn_{1,4} > Pb_{1,3}$ (индекс показывает величину превышения фона или коэффициент загрязнения). Основными загрязнителями воды водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий в сравнении с фоном являются никель, хром и кобальт (таблица 2). Содержание металлов в воде изучаемых водоемов, за исключением фонового, в 1,5-2,0 раза выше, чем в р. Березине на территории Березинского заповедника (по данным [6]), что свидетельствует о загрязнении воды водоемов и водотоков г. Гомеля и прилегающих территорий.

Информативным показателем загрязненности воды водоема является сравнение содержания тяжелых металлов в водных массах с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК). При сравнении с допустимыми нормами культурно-бытового водопользования установлено, что только концентрация марганца во всех водоемах выше норматива, в среднем, в 1,2-2,0 раза (таблица 1). Так как большинство водоемов используются для любительского, а некоторые и для промышленного рыболовства, проводилось сравнение с рыбохозяйственными ПДК. Концентрация свинца во всех водоемах значительно ниже предельно допустимых показателей рыбохозяйственных объектов. Уровень содержания хрома не превышает ПДК только в воде водоемов, расположенных выше города по течению. В остальных водоемах наблюдается

превышение нормы в 1,2-1,8 раза, и только для оз. Волотовское разница с допустимым уровнем составляет 3 раза. Речная вода ниже города загрязнена соединениями хрома в меньшей степени, чем вода в районе центра города. Количество никеля превышает ПДК во всех изучаемых водоемах в 1,4-9,8 раза. Для кобальта содержание ниже допустимого уровня определено только на участке выше города (д. Кленки) и в фоновом водоеме. Наиболее значимые превышения нормы отмечаются для марганца, меди и цинка, составляющие 7-20 раз.

Таблица 2 – Ассоциации металлов-загрязнителей в воде водоемов и водотоков г. Гомеля и прилегающих территорий

Водоем	По абсолютному содержанию	По отношению к фоновому водоему
оз. Малое	Mn>Zn>Ni>Co>Cu>Pb>Cr	Ni _{4,2} > Co _{2,1} > Zn _{1,9} >Cr _{2,1} >Pb _{1,4} ≈Cu _{1,4} >Mn _{1,1}
оз. Круглое	Mn>Zn>Ni>Co>Cu>Pb>Cr	Ni _{5,1} >Co _{2,5} >Cr _{2,0} >Mn _{1,7} >Cu _{1,4} >Zn _{1,4} >Pb _{1,2}
оз. У-образное	Mn>Zn>Ni>Cu>Cr>Co>Pb	Ni _{4,5} >Cr _{2,3} >Co _{2,2} >Zn _{2,1} >Cu _{1,7} >Mn _{1,4} >Pb _{1,0}
оз. Волотовское	Mn>Zn>Ni>Co≈Cu>Pb>Cr	Cr _{5,7} >Ni _{5,1} >Cu _{2,5} >Zn _{1,7} >Mn _{1,6} >Co _{1,5} >Pb _{1,1}
оз. Шапор	Mn>Zn>Ni>Co>Cu>Pb>Cr	Ni _{3,6} >Cr _{2,3} >Co _{2,0} >Cu _{1,8} >Mn _{1,4} >Pb _{1,2} >Zn _{1,1}
оз. Дедно	Mn>Ni>Zn>Cu>Co>Pb>Cr	Ni _{6,2} >Co _{3,0} >Cr _{2,8} >Cu _{2,0} >Mn _{1,5} >Zn _{1,3} >Pb _{1,1}
оз. Любенское	Mn>Zn>Ni>Co>Cu≈Pb>Cr	Ni _{5,7} >Cr _{2,8} >Cu _{2,1} >Co _{2,0} >Pb _{1,6} >Mn _{1,2} >Zn _{1,0}
Гребной канал	Mn>Ni>Zn>Cu≈Co>Pb>Cr	Ni _{3,1} >Cr _{2,5} >Co _{2,3} >Cu _{1,9} >Pb _{1,4} ≈Mn _{1,4} >Zn _{1,0}
оз. Володькино	Mn>Zn>Ni>Cu>Co>Pb>Cr	Ni _{7,3} >Cu _{2,0} >Cr _{1,8} >Co _{1,7} >Zn _{1,3} >Mn _{1,2} >Pb _{1,1}
р. Сож (д. Кленки)	Mn>Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr	Ni _{3,3} >Cu _{1,7} >Cr _{1,6} >Zn _{1,5} >Mn _{1,3} ≈Co _{1,3} >Pb _{1,0}
р. Сож (центр города)	Mn>Zn>Ni>Co>Cu>Pb>Cr	Ni _{7,3} >Co _{5,3} >Cr _{2,3} >Pb _{2,1} >Cu _{1,8} >Mn _{1,2} ≈Zn _{1,2}
р. Сож (д. Ченки)	Mn>Zn>Ni>Cu≈Pb>Co>Cr	Co _{2,7} >Cr _{2,1} >Ni _{2,0} >Cu _{1,8} >Pb _{1,2} ≈Mn _{1,2} ≈Zn _{1,2}
Фоновый водоем	Mn>Zn>Ni>Cu≈Pb>Co>Cr	—

В соответствии с абсолютными значениями, общая тенденция содержания тяжелых металлов в поверхностных водах изучаемых водоемов выражена в следующем ряду: Mn > Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > Co. Для Березинского биосферного заповедника ряд содержания металлов имеет вид: Mn > Zn > Ni > Cu > Cr > Pb [6]. Сходство рядов накопления, составленных для р. Березины и для изучаемых водоемов, свидетельствует об отсутствии значительной техногенной трансформации в составе воды водоемов и водотоков г. Гомеля и прилегающих территорий.

Учитывая положение кобальта в ряду элементов, составленном для участка реки в центре города (таблица 2), можно предположить, что металл в значительных количествах содержится в поверхностном стоке города.

Наиболее сильное комплексное воздействие на реки оказывают урбанизированные территории [12]. Ежегодный вынос взвешенных наносов с городских территорий в реки достигает 80 т/км² (р. Потомак г. Вашингтон) и 600 т/км² (р. Москва г. Москва) [12], для площадей, занятых под городским строительством – 1 600-24 400 т/км², в то время как снос с земель, находящихся под сельхозобработкой 150-960 т/км², а под лесами 7-45 т/км² [12]. По оценке белорусских исследователей поверхностные воды в городах подвергаются интенсивному химическому воздействию, где 72-87 % общей нагрузки приходится на долю тяжелых металлов – никеля, меди, цинка и хрома [13].

В настоящих исследованиях вода реки до прохождения черты города отличается более высоким содержанием никеля, цинка и марганца в сравнении с участком реки ниже города. Этот факт объясняется, по-видимому, тем, что по берегам реки выше города располагаются огороды дачных участков и деревень, стоки с которых идут в реку. Проведенные рас-

четы [14] свидетельствуют о заметном влиянии удобряемых сельхозугодий на вынос в водоемы в весенний и летне-осенний периоды таких элементов как марганец, медь, цинк, хром, никель и свинец. Исследования сельскохозяйственных угодий пригородных зон крупных промышленных центров республики (Минска, Могилева и Гомеля) показали, что вокруг городов существуют моно- и полиэлементные аномалии радиусом до 10 км, где содержание свинца, цинка, кадмия и меди в почвах выше среднефоновых значений, а в отдельных случаях превышает ОДК (ориентировочно-допустимые концентрации) для почв [15].

Для меди характерно постоянное увеличение ее концентрации по мере прохождения рекой городской черты. В отношении остальных элементов подобной тенденции обнаружено не было. Для кобальта, никеля, хрома и свинца отмечено выраженное увеличение их количества в городской черте и последующее уменьшение за чертой города. На выходе из городской черты концентрация кобальта и свинца снижается в 2 раза, никеля – в 3 раза. Причем количество никеля за чертой города ниже, чем на участке реки до принятия стоков города. Только для марганца и цинка характерно снижение содержания при движении вниз по течению реки. Ряды загрязнения воды элементами на участках реки выше и ниже города (таблица 2) практически одинаковые. А вот ряд загрязнения для участка реки в центре города имеет значительные отличия. Это свидетельствует о влиянии Гомельской городской агломерации на качество воды р. Сож.

Вода изучаемых водоемов загрязнена соединениями металлов, что является следствием поступления в водоемы загрязненных бытовых стоков, высокой замусоренностью берегов, трансформацией химического состава атмосферных осадков в городах и увеличением аэрозольных выпадений на подстилающую поверхность, что подтверждается и другими исследователями [1].

Выводы

1 Вода фонового водоема (старичный комплекс р. Сож у д. Поляновка Ветковского р-на) в сравнении с другими изучаемыми водоемами и водотоками содержит минимальное количество металлов, что позволяет использовать данный водоем в качестве локального (местного) фона. Наиболее загрязненной является вода озер Дедно и Волотовское, а также участка реки в центре города.

2 Общая тенденция содержания тяжелых металлов в поверхностных водах изучаемых водоемов и водотоков выражается в следующем ряду: $Mn > Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > Co$. В сравнении с фоновым водоемом ряд имеет вид: $Ni_{4,8} > Cr_{2,5} > Co_{2,4} > Cu_{1,8} > Zn_{1,4} \approx Mn_{1,4} > Pb_{1,3}$. Основными загрязнителями воды водоемов и водотоков являются никель, хром и кобальт (в сравнении с фоном). Сходство рядов накопления, составленных для р. Березины и для изучаемых водоемов и водотоков, свидетельствует об отсутствии значительной техногенной трансформации в составе воды водоемов и водотоков г. Гомеля и прилегающих территорий.

3 Превышение ПДК, установленных для культурно-бытового водопользования, отмечается только для марганца. Однако содержание изучаемых элементов, за исключением свинца, выше допустимых для рыбохозяйственного пользования норм в 1,2-20,0 раз в воде большинства изучаемых водоемов и водотоков.

4 Увеличение содержания отдельных металлов на участке реки в городской черте свидетельствует о загрязнении речной воды поверхностным стоком г. Гомеля. Снижение количества загрязнителей в воде реки, отобранной ниже впадения городских стоков, свидетельствует о том, что в бассейне р. Сож имеется достаточное количество водных ресурсов для разбавления сточных вод до нормативов рыбохозяйственного и культурно-бытового водопользования.

Литература

1. Хомич, В.С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В.С. Хомич, С.В. Ка-

- карека, Т.И. Кухарчик. – Минск : РУП «Минсктиппроект», 2004. – 260 с.
2. Ветров, В.А. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал / В.А. Ветров, А.И. Кузнецова. – Новосибирск : СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 234 с.
3. Савченко, В.В. Рекомендации по организации и ведению геохимических наблюдений на стационарах комплексного экологического мониторинга фоновых ранга / В.В. Савченко, В.М. Натаров. – Минск, 1999. – 131 с.
4. Савченко, С.В. Оценка фоновых содержаний тяжелых металлов в пойменных почвах как основа геохимического мониторинга / С.В. Савченко // Природопользование. – 2001. – Вып. 7 – С. 66–70.
5. Усенков, С.М. Сравнительный анализ загрязнения донных отложений крупных озер Европы и Северной Америки (на примере озер Гурон, Венерн и Ладожское) / С.М. Усенков // Геоэкология. – 2003. – № 1. – С. 36–44.
6. Байчоров, В.М. Экологические риски и оценка состояния водотоков Беларуси / В. М. Байчоров, Г. М. Тишиков, Н. Н. Рощина. – Минск : Белорус. наука, 2006. – 118 с.
7. Лукина Н.В. Формирование качества природных вод лесных водораздельных территорий северной тайги / Н.В. Лукина, В.В.Никонов, Т.Т. Горбачёва // Водные ресурсы. – 2001. – Т.28, № 4. – С. 480–493.
8. Макаренко, Т.В. Накопление тяжелых металлов в донных отложениях водоемов и водотоков г. Гомеля и прилегающих территорий / Т.В. Макаренко // Литосфера. – 2004. – № 2 (21). – С. 146–157.
9. Саэт, Ю.Е. Антропогенные геохимические аномалии (особенности, методика изучения и экологическое значение) : автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. Наук : 25.00.09 / Ю.Е. Саэт ; ИМГРЭ. – М., 1982. – 53 с.
10. Санитарные правила и нормы. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы : СанПиН № 4630 – 88. 2.1.5.10-21-2003. Введ. 01.07.2003. – Минск : Минздрав, 2003. – 321 с.
11. О некоторых вопросах нормирования качества воды рыбохозяйственных водных объектов. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 8 мая 2007 г. № 43/42, Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 8 мая 2007 г. № 43/42 : Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007 г., № 132, 8/16491. – Введ. 01.07.2007. – Минск : Мин. природ. ресурсов и охр. окр. среды, 2007. – 35 с.
12. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт [и др.]; под. ред. Ю.Е. Саэт. – Москва : Недра, 1990. – 336 с.
13. Особенности распределения микроэлементов в депонирующих компонентах городских ландшафтов (на примере г. Гомеля) / В.С. Хомич [и др.] // Природные ресурсы. – 1997. – №1. – С. 85 – 93.
14. Бреховских, В.Ф. Влияние изменения антропогенной нагрузки на гидрохимический и гидробиологический режимы Ивановского водохранилища / В.Ф. Бреховских, А.Г. Кочарян, К.И. Сафронова // Водные ресурсы. – 2002 – Т.29, № 1. – С. 85–91.
15. Головатый, С.Е. Научные основы минимизации накопления тяжелых металлов в растениеводческой продукции на дерново-подзолистых почвах : автореф. дис. ...доктора сельскохозяйств. наук : 06.01.04 / С.Е. Головатый; НИРУП Ин-т почвовед. и агрохим. НАН Беларуси. – Минск, 2003. – 47 с.

УДК 612.176:796.015:612.6:[378.096:796 – 057.875]

Влияние интенсивных физических нагрузок на показатели биологического возраста

Г. А. МЕДВЕДЕВА

Проведены исследования биологического возраста и темпов старения студентов 17-29 лет факультета физической культуры. Оценено соответствие биологического возраста должному биологическому возрасту по тестам, характеризующим различные показатели уровня здоровья индивида. Представлены данные относительно темпов старения студентов в зависимости от календарного возраста, стажа занятий и вида спорта.

Ключевые слова: биологический возраст, календарный возраст, студенты, показатели уровня здоровья.

Biological age and aging rates of 17-29-year-old-students of physical training department have been researched. The conformity of biological age with proper biological age has been estimated with the tests characterizing various indicators of individual's health level. The data concerning students' aging rates depending on chronological age, exercise experience and kind of sport are presented.

Key words: biological age, chronological age, students, various indicators of health.

Понятие биологического возраста (БВ) появилось в результате осознания геронтологами неравномерности старения. Один из общих законов геронтологии гласит: "Стареют все и всё внутри всех с разной скоростью". Поэтому при одном и том же астрономическом или календарном возрасте (КВ) различных индивидов, степень постарения их организмов в целом, а также отдельных органов, элементов и систем их организмов, будет различна [1].

Биологический возраст — это совокупность показателей состояния организма конкретного человека в сравнении с соответствующими среднестатистическими показателями здоровья людей этого же возраста, принадлежащих одной эпохе, одной национальности, одних географических и экономических условий существования.

Биологический возраст — это мера изменения во времени биологических возможностей организма. Он определяется на основании математической оценки количественных характеристик отобранных параметров здоровья, коррелирующих с календарным возрастом.

Биологический возраст, или возраст развития, может опережать либо отставать от паспортного, то есть дата рождения не определяет настоящий возраст человека. "Календарные" ровесники зачастую выглядят гораздо моложе или старше друг друга. Каждый человек имеет индивидуальный "биологический возраст". Следовательно, появляется потребность оценки степени старения или уровня жизнеспособности организма и его элементов, что является одной из ключевых задач профилактической геронтологии, поскольку такая оценка позволяет объективно зарегистрировать темп старения и его изменения при лечебно-профилактических воздействиях.

Общеизвестно, что физические нагрузки благотворно влияют на здоровье человека. Проведенные клинико-физиологические исследования показывают, что у людей, систематически занимающихся физическим трудом, значительно медленнее снижаются мышечная сила, физическая работоспособность, сохраняется высокая толерантность к физическим нагрузкам. Под влиянием систематических занятий физическими упражнениями происходит интенсификация обменных процессов, повышается экономичность использования кислорода, снижается «кислородная стоимость» 1 кгм работы. Активный двигательный режим оказывает положительное влияние на центральную нервную систему, в результате его воздействия значительно улучшается состояние сердечно-сосудистой системы, возрастает приспособляемость органов кровообращения к физическим нагрузкам, повышается устойчивость к стрессовым ситуациям [2].

Систематические занятия физической культурой способствуют восстановлению функциональных систем, повышению устойчивости к стрессовым ситуациям, сопротивляемости организма к различным неблагоприятным факторам внешней среды, в частности к простудным заболеваниям. Имеются экспериментальные данные о том, что мышечная тренировка, физические нагрузки ослабляют развитие атеросклероза.

Таким образом, дозированные физические нагрузки оказывают благоприятный эффект на многие структуры организма. Однако интенсивные постоянные физические нагрузки могут негативно сказаться на его функционировании. В этой связи значительный интерес представляет вопрос изучения влияния интенсивных физических нагрузок на показатели, определяющие степень износа организма, т.е его биологический возраст.

Поэтому **целью работы** было изучение параметров биологического возраста у студентов факультета физической культуры, испытывающих постоянные физические нагрузки.

«Биологический возраст» можно определить как степень соответствия (несоответствия) морфофункционального статуса данного индивида некоему среднему уровню развития в той или иной «референтной» группе (возрастно-половой, этнотерриториальной и т.д.). Таким образом, биологический возраст дает оценку индивидуального возрастного статуса. Такая оценка может производиться с использованием практически любых систем организма, поскольку все они характеризуются определенными изменениями на протяжении всего постнатального онтогенеза. Однако специалисты используют далеко не все из них. Существуют четкие критерии оценки биологического возраста, которые и позволяют производить его сопоставление на самых различных уровнях.

Признаки, используемые для оценки биологического возраста, должны удовлетворять целому ряду требований. Прежде всего, они должны отражать четкие возрастные изменения, которые поддаются описанию или измерению. Способ оценки этих изменений не должен наносить вред здоровью испытуемого и вызывать у него неприятные ощущения. И, наконец, он должен быть пригоден для скрининга большого количества индивидуумов [3].

В работе для оценки БВ была использована методика Войтенко [4], включающая оценку здоровья по анкете СОЗ и батареи тестов – на статическую балансировку, на подвижность, на нажатие, а также по формулам. Для суждения, в какой мере степень постарения соответствует календарному возрасту обследуемого, сопоставляли индивидуальный БВ с должным БВ (ДБВ), который характеризует популяционный стандарт возрастного износа.

ДБВ рассчитывали по следующим формулам:

$$\text{Мужчины: ДБВ} = 0,863 \cdot \text{КВ} + 6,85,$$

$$\text{Женщины: ДБВ} = 0,706 \cdot \text{КВ} + 12,1,$$

где ДБВ – должный биологический возраст, КВ – календарный возраст.

В ходе проведения исследований обследовано 196 студентов факультета физической культуры (ФФК) в возрасте от 17 до 29 лет. Объектом исследований являлись показатели биологического возраста студентов.

Тест на статическую балансировку позволяет оценить функционирование структур, отвечающих за перераспределение тонуса мышц и координацию движений. Особенности соотношения БВ и ДБВ в зависимости от вида спорта у студентов факультета физической культуры по тесту СБ отражены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что у 33 % девушек, занимающихся игровыми видами спорта менее 5 лет, БВ превышает ДБВ, а у 67 % БВ – меньше ДБВ; у девушек, занимающихся спортом от 5 до 10 лет, – у 25 % БВ > ДБВ, у 75 % БВ < ДБВ. Среди юношей, занимающихся менее 5 лет, у 67 % наблюдается превышение БВ над ДБВ, у 33 % БВ – меньше ДБВ; у всех юношей, занимающихся более 10 лет игровыми видами спорта, БВ меньше ДБВ.

Среди всех девушек, занимающихся менее 5 лет и более 5 лет циклическими видами спорта, отмечено, что БВ меньше ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 44 % наблюдается превышение БВ над ДБВ, у 56 % БВ меньше ДБВ. У юношей, занимающихся менее 5 лет, отмечено, что у 33 % БВ превышает ДБВ, у 67 % БВ меньше ДБВ; среди всех занимающихся от 5 и более лет БВ < ДБВ.

У 40 % девушек, занимающихся от 5 до 10 лет спортивными единоборствами, БВ превышает ДБВ, у 60 % БВ меньше ДБВ; среди занимающихся более 10 лет у 100 % установлено, что БВ превышает ДБВ. БВ юношей, занимающихся менее 5 лет, меньше ДБВ; у юношей, занимающихся от 5 до 10 лет, у 28 % БВ>ДБВ, у 72 % БВ<ДБВ; у 75 % юношей, занимающихся спортивными единоборствами более 10 лет, БВ превышает ДБВ, а у 25 % – БВ<ДБВ.

Таблица 1 – Соотношение БВ и ДБВ у студентов факультета физической культуры по тесту на СБ

Вид спорта	Стаж занятий спортом	Пол	Соотношение БВ и ДБВ					
			БВ > ДБВ		БВ = ДБВ		БВ < ДБВ	
			чел.	%	чел.	%	чел.	%
Игровой	< 5 лет	жен.	1	33	–	–	2	67
		муж.	4	67	–	–	2	33
	5 – 10 лет	жен.	2	25	–	–	6	75
		муж.	3	20	2	13	10	67
	> 10 лет	муж.	–	–	–	–	1	100
Циклический	< 5 лет	жен.	–	–	–	–	7	100
		муж.	1	33	–	–	2	67
	5 – 10 лет	жен.	4	44	–	–	5	56
		муж.	–	–	–	–	9	100
	> 10 лет	жен.	–	–	–	–	1	100
		муж.	–	–	–	–	1	100
Спортивное единоборство	< 5 лет	муж.	1	100	–	–	–	–
	5 – 10 лет	жен.	2	40	–	–	3	60
		муж.	2	28	–	–	5	72
	> 10 лет	жен.	1	100	–	–	–	–
		муж.	3	75	–	–	1	25
Силовой	< 5 лет	муж.	2	33	–	–	4	67
	5 – 10 лет	муж.	–	–	–	–	3	100
	> 10 лет	муж.	–	–	–	–	1	100
Сложнокоординационный	< 5 лет	жен.	–	–	–	–	1	100
	5 – 10 лет	жен.	–	–	–	–	2	100
	> 10 лет	жен.	2	40	–	–	3	60
Прикладной	5 – 10 лет	жен.	1	100	–	–	–	–

Среди юношей, занимающихся силовыми видами спорта менее 5 лет, у 33 % БВ>ДБВ и у 67 % БВ<ДБВ; среди занимающихся от 5 и более лет отмечено, что БВ меньше ДБВ. Среди всех девушек, занимающихся сложнокоординационными видами спорта от 5 до 10 лет, наблюдается, что БВ<ДБВ; среди занимающихся более 10 лет у 40 % девушек БВ>ДБВ, у 60 – % БВ<ДБВ.

Среди всех девушек, занимающихся прикладным видом спорта от 5 до 10 лет, наблюдается превышение БВ над ДБВ.

Результаты оценки статической балансировки показывают, что в большинстве случаев физическая нагрузка благотворно влияет на структуры головного мозга, отвечающие за тонус мышц и координацию движений.

Физическая тренировка положительно влияет и на состояние опорно-двигательного аппарата: повышается мышечная работоспособность, выносливость к большим физическим нагрузкам, улучшается подвижность в суставах, позвоночнике, движения становятся более координированными. Результаты исследований подвижности студентов представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что у всех девушек, занимающихся игровыми видами спорта менее 5 лет, БВ соответствует ДБВ; у девушек, занимающихся от 5 до 10 лет, у 43 % БВ>ДБВ,

у 57 % – БВ=ДБВ. Среди юношей, занимающихся менее 5 лет, у 50 % БВ превышает ДБВ, а у 50 % БВ соответствует ДБВ; у юношей, занимающихся от 5 до 10 лет, отмечено, что у 40 % БВ>ДБВ, а у 60 % БВ = ДБВ; у всех юношей, занимающихся более 10 лет игровыми видами спорта, БВ соответствует ДБВ.

Таблица 2 – Оценка БВ студентов факультета физической культуры по тесту на подвижность

Вид спорта	Стаж занятий спортом	Пол	Соотношение БВ и ДБВ					
			БВ > ДБВ		БВ = ДБВ		БВ < ДБВ	
			чел.	%	чел.	%	чел.	%
Игровой	< 5 лет	жен.	–	–	3	100	–	–
		муж.	3	50	3	50	–	–
	5 – 10 лет	жен.	3	43	4	57	–	–
		муж.	6	40	9	60	–	–
	> 10 лет	муж.	–	–	1	100	–	–
Циклический	< 5 лет	жен.	1	14	6	86	–	–
		муж.	–	–	4	100	–	–
	5 – 10 лет	жен.	3	33	6	67	–	–
		муж.	4	44	5	56	–	–
	> 10 лет	муж.	–	–	2	100	–	–
Спортивное единоборство	< 5 лет	муж.	1	100	–	–	–	–
	5 – 10 лет	жен.	1	20	4	80	–	–
		муж.	2	25	6	75	–	–
	> 10 лет	жен.	–	–	–	–	1	100
		муж.	1	33	2	67	–	–
Силовой	< 5 лет	муж.	1	17	5	83	–	–
	5 – 10 лет	муж.	1	50	1	50	–	–
	> 10 лет	муж.	–	–	2	100	–	–
Сложнокоординационный	< 5 лет	жен.	–	–	1	100	–	–
	5 – 10 лет	жен.	1	50	1	50	–	–
	> 10 лет	жен.	2	40	3	60	–	–
Прикладной	5 – 10 лет	жен.	–	–	1	100	–	–

Среди девушек, занимающихся менее 5 лет циклическими видами спорта, у 14 % отмечено превышение БВ над ДБВ, у 86 % – БВ соответствует ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 33 % – БВ>ДБВ, у 67 % – БВ=ДБВ. У всех юношей, занимающихся менее 5 лет и более 10 лет циклическими видами спорта, наблюдается соответствие БВ и ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 44 % БВ>ДБВ, у 56 % БВ=ДБВ.

Среди девушек, занимающихся от 5 до 10 лет спортивными единоборствами, у 20 % БВ превышает ДБВ, у 80 % – БВ равен ДБВ; у всех девушек, занимающихся более 10 лет, установлено, что БВ меньше ДБВ. Среди всех юношей, занимающихся менее 5 лет, отмечено превышение БВ над ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 25 % юношей наблюдается превышение БВ над ДБВ и у 75 % – БВ равен ДБВ; среди юношей, занимающихся более 10 лет спортивными единоборствами, у 33 % – БВ>ДБВ, а у 67 % – БВ=ДБВ.

Среди юношей, занимающихся силовыми видами спорта менее 5 лет, у 17 % – БВ>ДБВ и у 83 % – БВ=ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 50 % – БВ>ДБВ, а у 50 % – БВ=ДБВ; среди всех юношей, занимающихся более 10 лет, БВ соответствует ДБВ.

Среди всех девушек, занимающихся сложнокоординационными видами спорта менее 5 лет, отмечено, что БВ соответствует ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 50 % – БВ>ДБВ и у 50 % – БВ=ДБВ; среди занимающихся более 10 лет у 40 % – БВ>ДБВ и у 60 % – БВ=ДБВ.

Среди всех девушек, занимающихся прикладными видами спорта от 5 до 10 лет, наблюдается соответствие БВ и ДБВ.

Тест на нажатие позволяет оценить функционирование микроциркуляторного русла сосудистой системы. Оценка результатов данного теста представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка БВ у студентов факультета физической культуры по тесту на нажатие

Вид спорта	Стаж занятий спортом	Пол	Соотношение БВ и ДБВ					
			БВ > ДБВ		БВ = ДБВ		БВ < ДБВ	
			чел.	%	чел.	%	чел.	%
Игровой	< 5 лет	жен.	3	100	–	–	–	–
		муж.	6	100	–	–	–	–
	5 – 10 лет	жен.	3	43	1	14	3	43
		муж.	15	100	–	–	–	–
	> 10 лет	муж.	–	–	–	–	1	100
Циклический	< 5 лет	жен.	4	57	–	–	3	43
		муж.	4	100	–	–	–	–
	5 – 10 лет	жен.	4	44	1	12	4	44
		муж.	6	67	2	22	1	11
	> 10 лет	жен.	–	–	–	–	1	100
		муж.	1	100	–	–	–	–
Спортивное единоборство	< 5 лет	муж.	–	–	–	–	1	100
	5 – 10 лет	жен.	2	40	2	40	1	20
		муж.	7	88	–	–	1	12
	> 10 лет	жен.	–	–	–	–	1	100
		муж.	3	100	–	–	–	–
Силовой	< 5 лет	муж.	5	71	–	–	2	29
	5 – 10 лет	муж.	1	50	–	–	1	50
	> 10 лет	муж.	1	100	–	–	–	–
Сложнокоординационный	< 5 лет	жен.	–	–	–	–	1	100
	5 – 10 лет	жен.	1	50	1	50	–	–
	> 10 лет	жен.	1	20	1	20	3	60
Прикладной	5 – 10 лет	жен.	1	100	–	–	–	–

Из таблицы 3 видно, что у всех девушек, занимающихся игровыми видами спорта менее 5 лет, БВ превышает ДБВ; у девушек, занимающихся от 5 до 10 лет, – у 43 % – БВ>ДБВ, у 14 % – БВ=ДБВ, у 43 % – БВ<ДБВ. Среди всех юношей, занимающихся менее 10 лет, наблюдается превышение БВ над ДБВ; у всех юношей, занимающихся более 10 лет игровыми видами спорта, БВ меньше ДБВ.

Среди девушек, занимающихся менее 5 лет циклическими видами спорта, у 57 % отмечено превышение БВ над ДБВ, у 43 % – БВ меньше ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 44 % наблюдается превышение БВ над ДБВ, у 12 % – БВ соответствует ДБВ и у 44 % – БВ меньше ДБВ; у всех девушек, занимающихся более 10 лет, БВ меньше ДБВ. У всех юношей, занимающихся менее 5 лет и более 10 лет циклическими видами спорта, отмечено превышение БВ над ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 67 % – БВ>ДБВ, у 22 % – БВ=ДБВ и у 11 % – БВ<ДБВ.

Среди девушек, занимающихся от 5 до 10 лет спортивными единоборствами, у 40 % – БВ превышает ДБВ, у 40 % – БВ равен ДБВ и у 20 % – БВ меньше ДБВ; среди занимающихся более 10 лет у 100 % установлено, что БВ меньше ДБВ. Среди юношей, занимающихся менее 5 лет, отмечено, что их БВ меньше ДБВ, а у юношей, занимающихся более 10 лет спортивными

ми единоборствами, установлено превышение БВ над ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 88 % юношей наблюдается превышение БВ над ДБВ и у 12 % – БВ меньше ДБВ.

Среди юношей, занимающихся силовыми видами спорта менее 5 лет, у 71 % – БВ > ДБВ и у 29 % – БВ < ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет у 50 % – БВ > ДБВ, а у 50 % – БВ < ДБВ; среди юношей, занимающихся более 10 лет отмечено 100 %-ое превышение БВ над ДБВ.

Среди девушек, занимающихся сложнокоординационными видами спорта менее 5 лет, у 100 % наблюдается, что БВ < ДБВ; среди занимающихся от 5 до 10 лет – у 50 % БВ превышает ДБВ, а у 50 % – он равен ДБВ; среди занимающихся более 10 лет у 20 % девушек БВ > ДБВ, у 20 % – БВ = ДБВ и у 60 % – БВ < ДБВ.

Среди всех девушек, занимающихся прикладным видом спорта от 5 до 10 лет, наблюдается превышение БВ над ДБВ.

В ходе выполнения исследований был рассчитан биологический возраст обследуемых студентов с помощью формул. Для этого расчёта были измерены: артериальное давление (по методу Короткова), задержка дыхания на вдохе (у юношей) и масса тела (у девушек). Результаты, полученные в ходе работы, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка БВ у студентов факультета физической культуры по формулам

Вид спорта	Стаж занятий спортом	Пол	Соотношение БВ и ДБВ					
			БВ > ДБВ		БВ = ДБВ		БВ < ДБВ	
			чел.	%	чел.	%	чел.	%
Игровой	< 5 лет	жен.	3	100	–	–	–	–
		муж.	6	100	–	–	–	–
	5 – 10 лет	жен.	6	86	1	14	–	–
		муж.	14	100	–	–	–	–
	> 10 лет	муж.	2	100	–	–	–	–
Циклический	< 5 лет	жен.	7	100	–	–	–	–
		муж.	3	100	–	–	–	–
	5 – 10 лет	жен.	10	100	–	–	–	–
		муж.	9	100	–	–	–	–
	> 10 лет	жен.	1	100	–	–	–	–
		муж.	1	100	–	–	–	–
Спортивное единоборство	< 5 лет	муж.	1	100	–	–	–	–
	5 – 10 лет	жен.	5	100	–	–	–	–
		муж.	8	100	–	–	–	–
	> 10 лет	жен.	–	–	–	–	1	100
		муж.	3	100	–	–	–	–
Силовой	< 5 лет	муж.	6	100	–	–	–	–
	5 – 10 лет	муж.	3	100	–	–	–	–
	> 10 лет	муж.	1	100	–	–	–	–
Сложнокоординационный	< 5 лет	жен.	2	100	–	–	–	–
	5 – 10 лет	жен.	1	50	1	50	–	–
	> 10 лет	жен.	4	80	–	–	1	20
Прикладной	5 – 10 лет	жен.	1	100	–	–	–	–

Из таблицы 4 видно, что у преобладающего большинства студентов (как девушек, так и юношей) независимо от вида спорта отмечается превышение биологического возраста над должным.

На основании полученных результатов была оценена степень постарения студентов ФФК (таблица 5).

Таблица 5 – Отклонение БВ от ДБВ в зависимости от вида спорта

Характеристика старения	Вид спорта	Пол	Частота встречаемости	
			чел.	%
Замедленное старение	Спортивное единоборство	жен.	1	17
	Сложнокоординационный	жен.	1	13
Физиологическое старение	Игровой	жен.	1	8
	Циклический	жен.	4	27
	Спортивное единоборство	жен.	2	33
	Сложнокоординационный	жен.	6	74
	Прикладной	жен.	1	100
Преждевременное старение	Игровой	жен.	12	92
		муж.	22	100
	Циклический	жен.	11	73
		муж.	13	100
	Спортивное единоборство	жен.	3	50
		муж.	12	100
	Сложнокоординационный	жен.	1	13
	Силовой	муж.	10	100

Результаты, представленные в таблице 5, показывают, что для преобладающего большинства студентов факультета физической культуры характерно преждевременное старение организма.

В результате исследований все студенты были разделены на три группы: студенты с замедленными темпами старения, у которых БВ меньше ДБВ – 2 %; студенты, чей БВ равен ДБВ, составляют – 12 %; студенты с ускоренными темпами старения, у которых БВ больше ДБВ – 86 %. Наибольшие темпы старения отмечаются у студентов, имеющих стаж занятий спортом и какую-либо степень, категорию или разряд. Таким образом, постоянные физические нагрузки ведут к износу организма и соответственно ухудшению показателей БВ, что приводит к преждевременному старению.

Своевременное выявление и устранение факторов преждевременного старения в каждом конкретном случае может явиться действенной профилактикой преждевременного старения, залогом активного, творческого долголетия.

Литература

1. Павловский, О.М. Биологический возраст человека / О.М. Павловский. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 454 с.
2. Дильман, В.М. Хронобиологические аспекты геронтологии и гериатрии / В.М. Дильман. – М.: Медицина, 1989. – 350 с.
3. Белозерова, Л.М. Онтогенетический метод определения биологического возраста человека / Л.М. Белозерова. – М.: Медицина, 1999. – 143 с.
4. Войтенко, В.П., Токарь, А.В., Полухов, А.М. Методика определения биологического возраста человека // Геронтология и гериатрия. 1984. Ежегодник. Биологический возраст. Наследственность и старение. – Киев, 1984. – С. 133-137.

УДК:[576,311,347:546,36]–092.9

Воздействие инкорпорации ^{137}Cs на энергетические функции митохондрий семенников у крыс

Аль Меселмани М.А.

Резюме: В экспериментах полярографическим методом с использованием электрода Кларка исследовали состояние энергетического обмена в семенниках крыс при инкорпорации ^{137}Cs . Выявлены изменения скорости митохондриального дыхания во всех метаболических состояниях при окислении как эндогенных субстратов, так и экзогенных субстратов, вызывающих разобщение окислительного фосфорилирования. Это может привести к развитию стойкого низкоэнергетического состояния, по которому можно судить о дисфункции репродуктивного здоровья человека и животных.

Ключевые слова: семенники, митохондрия, окисление, инкорпорации ^{137}Cs , белые крысы.

Abstract: In the experiments there has been investigated the condition of a power exchange in rats' testis by the polarographic method using Clark electrode upon incorporation ^{137}Cs . The mitochondrial breathing speed changes in all metabolic conditions are revealed at oxidation of both endogenous and exogenous substrates causing uncoupling of oxidative phosphorylation. It may lead to the development of a persistent low-energy condition that can explain a reproductive health dysfunction of people and animals.

Keywords: testis, mitochondria, oxidation, incorporation ^{137}Cs , albino rats.

Введение

В настоящее время на загрязненных территориях проживает свыше 1,5 миллиона человек, из них большинство подвержены влиянию малых доз радиации. Из-за последствий Чернобыльской катастрофы количество заболеваний раком резко возросло в Беларуси, Украине и России.

Несмотря на то, что факт воздействия малых доз радиации неоднократно описан в литературе, до настоящего время остаются не до конца выясненными механизмы их действия на организм, и в, частности, на репродуктивное здоровье человека. В Беларуси продолжается реализация государственных чернобыльских программ. Приоритетами государственной политики в области преодоления последствий катастрофы на ЧАЭС являются такие направления, как сохранение и улучшение здоровья населения, проживающего на загрязненных территориях, улучшение условий жизни, а также реабилитация пострадавших территорий.

Решение данной проблемы в определенной степени связано с улучшением демографической ситуации в Республике Беларусь, которая в настоящее время представляет потенциальную угрозу устойчивому экономическому развитию Белорусского государства и его национальной безопасности в целом. Исследования, проводимые в этом направлении, будут способствовать предотвращению развития негативных демографических процессов, стабилизации демографической ситуации и созданию предпосылок для роста населения.

В условиях сложившейся демографической ситуации в Республике Беларусь и других европейских странах становится очевидным, что проблема влияния радиации на репродуктивную систему человека является одной из важных, требующей проведения исследований в данной области медицины [3, 6, 8, 9].

Особое внимание в этом плане привлекает получение радиационных эффектов в репродуктивной системе самцов млекопитающих, семенники которых очень чувствительны к малым дозам инкорпорации ^{137}Cs , что может привести к мутагенному повреждению сперматогенных клеток, а также оказать воздействие на надпочечный стероидогенез [3, 8, 14]. Некоторые авторы рассматривают семенники и процесс сперматогенеза как универсальную биологическую тест-систему, позволяющую оценивать эффекты различных видов облучения [3,8,13]. Liaginskaia A. M. с соавт. показали, что доза аккумуляирования ^{137}Cs в семенниках в

2.0-3.0 раза выше средней итоговой дозы [15].

Последнее сопровождается не только торможением становления структурных и цитохимических свойств фолликулярного и сперматогенного эпителия, но и развитием в его клетках деструктивных изменений, приводящих к нарушению сперматогенеза и продукции тестостерона [9,13]. Установлено, что интерстициальные клетки, суспендоциты более устойчивы к воздействию малых доз радиации, нежели мужские половые клетки. Последние по чувствительности к малым дозам радиации находятся в прямой зависимости от степени их дифференцировки.

По данным современных исследований цезий уменьшает уровень циркулирующего 17 – эстрадиола и увеличивает уровень кортикостероидного гормона в семенниках, кроме того, воздействие малых доз ^{137}Cs на взрослого влияет на модификацию метаболизма тестикулярных и надпочечных стероидогенезов [14].

Кроме того, в семенниках отмечаются нарушения митохондриального окисления и активация окислительного стресса. Митохондрии участвуют в β -окислении жирных кислот, окислительном фосфорилировании, ЦТК, что обеспечивает клетку энергией. Этот процесс обеспечивает, соответственно, высокие уровни потребления кислорода митохондриями клеток зародышевого эпителия, что негативно отражается на сперматогенезе и гормонообразовании в семенниках [17].

Данные литературы свидетельствуют об исключительной роли тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования в семенниках для обеспечения энергией процесса сперматогенеза и подвижности сперматозоидов. Однако недостаточная информация о состоянии митохондриального окисления в тканях семенников при инкорпорации малых доз ^{137}Cs побудили нас изучить эти параметры.

В связи с этим, целью работы явилось изучение влияния инкорпорированного ^{137}Cs на состояние тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования (ТД и ОФ) семенников белых крыс.

Материалы и методы

Опыты проводились на белых крысах-самцах массой 200–220 г. При этом соблюдались все требования нормативных актов, принятых в международной практике лабораторного животноводства [Хельсинкская Декларация по гуманному обращению с животными (1975, пересмотр. 1993), Директивы Совета Европейского Сообщества по защите животных, используемых в экспериментальных и других научных целях (1986)].

Животных разделили на две группы, контрольную группу, и подопытную группу, животные подопытной группы при вскармливании в течение 30 дней радиоактивного корма (сушеных белых грибов с ^{137}Cs) была сформирована подопытная группа с накоплением радионуклида в организме животных в количестве 800 Бк/Кг, контрольная группа животных находилась на стандартном рационе вивария.

Дозиметрический контроль проводился на сцинтилляционном гамма-спектрометре LP4900 В (Финляндия). После забоя животных путем декапитации, извлеченные семенники охлаждали, промывали в физиологическом растворе, освобождали от соединительной ткани и продавливали через плунжер с диаметром отверстий 0,5 мм. Затем в полученных кусочках ткани семенников исследовали параметры митохондриального окисления полярографическим методом с использованием электрода Кларка в термостатируемой ячейке объемом 2 мл при температуре 25С° [5]. Все эксперименты проводились в условиях строгого контроля температуры и времени. Количество белка в образцах ткани семенников определяли биуретовым методом, предварительно гомогенизируя их [7].

Для оценки состояния тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования (далее ТД и ОФ) определяли скорость поглощения кислорода кусочками ткани семенников на эндогенных ($V_{\text{энд}}$) и экзогенных субстратах – 5мМ сукцината ($V_{\text{як}}$) и 5мМ глутамата ($V_{\text{глу}}$), а также разобщителя ОФ – 100 мкМ 2,4 динитрофенола ($V_{\text{днф}}$). Кроме того, применяли ингибиторный анализ, используя ингибитор I комплекса ДЦ–1 мМ амитала натрия ($V_{\text{ам}}$) и инги-

битор сукцинатдегидрогеназы–1 мМ малоната натрия ($V_{\text{мал}}$), скорость потребления кислорода кусочками ткани семенников измеряли в нмоль $\text{O}_2/\text{мин} \times \text{мг}$ белка препаратах [5].

Наряду с этим, рассчитывали величину стимулирующего действия янтарной кислоты $\text{СД}_{\text{як}} = V_{\text{як}}/V_{\text{энд}}$, глутамата $\text{СД}_{\text{глу}} = V_{\text{глу}}/V_{\text{энд}}$, и 2,4-динитрофенола $\text{СД}_{\text{днф}} = V_{\text{днф}}/V_{\text{глу}}$, а также показатели амиталрезистентного дыхания ($\text{АРД} = V_{\text{ам}}/V_{\text{энд}}$) и малонатрезистентного дыхания ($\text{МРД} = V_{\text{мал}}/V_{\text{ам}}$), характеризующие соответственно интенсивность окисления флавопротеидзависимых субстратов и вклад жирных кислот в энергетику исследуемой ткани. Перечисленные выше-параметры ТД и ОФ позволяют достаточно полно охарактеризовать состояние энергетического обмена ткани [2].

Результаты обрабатывали программой Statistica 5.0.

Результаты и обсуждение

Как следует из данных, приведенных в табл. 1, ткань семенников белых крыс отличалась высоким уровнем дыхательной активности митохондрий и высокой чувствительностью к воздействию инкорпорации ^{137}Cs (табл. 1), которая сравнима с таковой для миокарда, печени и селезенки [1, 2, 4]

Таблица 1 – Показатели тканевого дыхания ткани семенников при инкорпорации ^{137}Cs в количестве 800 Бк/Кг ($n=6 \div 8$)

Параметры	Тканевое дыхание нмоль $\text{O}_2/\text{мин} \times \text{мг}$ белка	
	Контроль	Уровень инкорпорации 800 Бк/Кг
$V_{\text{энд}}$	$3,10 \pm 0,18$	$4,85 \pm 0,07^*$
$V_{\text{як}}$	$5,88 \pm 0,35$	$9,64 \pm 0,12^{**}$
$V_{\text{глу}}$	$4,95 \pm 0,26$	$6,38 \pm 0,71$
$V_{\text{днф}}$	$5,98 \pm 0,32$	$6,49 \pm 0,71$
$\text{СД}_{\text{як}}$	$1,91 \pm 0,08$	$1,99 \pm 0,01$
$\text{СД}_{\text{глу}}$	$1,56 \pm 0,07$	$1,33 \pm 0,05^*$
$\text{СД}_{\text{днф}}$	$1,21 \pm 0,01$	$1,02 \pm 0,02^*$

Примечание: здесь и далее: достоверность различий по отношению к контрольной группе * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$.

При условиях инкорпорации ^{137}Cs с уровнем накоплением ^{137}Cs в количестве 800 Бк/Кг наблюдали достоверное увеличение скорости дыхания кусочков семенников на эндогенных субстратах до $4,85 \pm 0,07$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин} \times \text{мг}$ против $3,10 \pm 0,18$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин} \times \text{мг}$ белка в контроле, что на 56,5% больше, чем в контроле. Митохондриальное дыхание тканей семенников животных, получавших радионуклид ^{137}Cs , было более активировано на экзогенных субстратах – сукцинате и глутамате. Так, в этих условиях происходило достоверное увеличение скорости дыхания митохондрий при использовании сукцината до $9,64 \pm 0,12$, глутамата – до $6,38 \pm 0,71$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин} \times \text{мг}$ белка соответственно против $5,88 \pm 0,35$ и $4,95 \pm 0,26$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин} \times \text{мг}$ белка в контроле, что на 64 % и 29 % больше, чем в контроле (табл.1, рис.1).

Описанная метаболическая картина характеризуется разобщением ОФ в митохондриях семенников, что подтверждается достоверным снижением коэффициента $\text{СД}_{\text{днф}}$ с $1,21 \pm 0,01$ до $1,02 \pm 0,02$, что на 15,7 % меньше, чем в контроле. Разобщение окислительного фосфорилирования, по-видимому, выступают свободные жирные кислоты, образующиеся при липолизе триацилглицеридов и фосфолипидов [11], а также может быть обусловлено повреждением внутренних мембран митохондрий [11, 12].

Следствием этого могло явиться увеличение внутримитохондриального пула субстрата, в частности, глутамата. Это подтверждается снижением коэффициента $\text{СД}_{\text{глу}}$ с $1,56 \pm 0,07$ в контроле до $1,33 \pm 0,05$ (на 14,8 % ниже контрольных значений) в подопытной группе животных (табл. 1). Повышение коэффициента действия сукцината $\text{СД}_{\text{як}}$ с $1,91 \pm 0,08$ в контроле до $1,99 \pm 0,01$ у подопытной группы животных может быть связано, по мнению авторов с снижением внутримитохондриального пула субстрата сукцината [10].

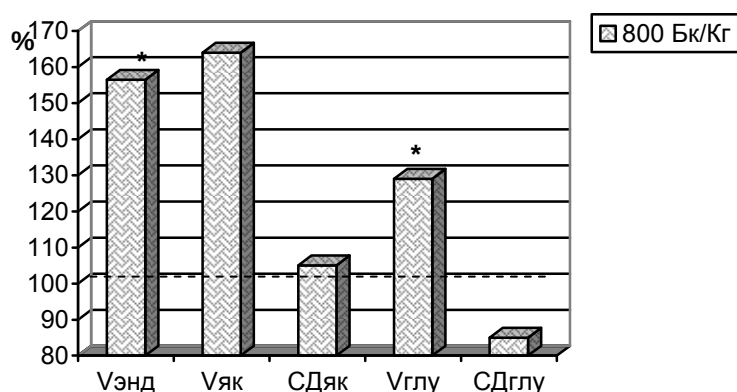


Рисунок 1 – Показатели митохондриального дыхания в тканях семенников при инкорпорации ^{137}Cs в количестве 800 Бк/кг

Очевидно, что в группе животных при данном уровне инкорпорации радионуклида, в результате ингибиторного анализа с введением в систему специфических ингибиторов амита-ла натрия (АМ) и малоната натрия (МАЛ) позволили выявить увеличение скорости дыха-ния ткани семенников при окислении амиталом. Так, отмечается увеличение $V_{ам}$ с $2,71 \pm 0,23$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин} \times \text{мг}$ белка в контроле до $3,41 \pm 0,23$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин} \times \text{мг}$ белка, что на 25,9 % больше, чем в контроле (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели влияния ингибиторов на ТД в семенниках крыс при инкорпорации ^{137}Cs в количестве 800 Бк/кг ($n=6 \div 8$)

Параметры	Тканевое дыхание нМ $\text{O}_2/\text{мин.мг}$	
	Контроль	Уровень инкорпорации 800 Бк/Кг
$V_{энд}$	$3,25 \pm 0,22$	$4,95 \pm 0,09^*$
$V_{ам}$	$2,71 \pm 0,28$	$3,41 \pm 0,23^*$
$V_{мал}$	$1,99 \pm 0,12$	$2,01 \pm 0,20$
АРД	$0,81 \pm 0,01$	$0,69 \pm 0,04^*$
МРД	$0,76 \pm 0,03$	$0,58 \pm 0,03^*$

В то же время, при этих условиях наблюдалось достоверное снижение амиталрези-стентного дыхания (АРД) до $0,69 \pm 0,04$ против $0,81 \pm 0,01$ в контроле, что на 14,8% меньше, чем в контроле. Выявлено также достоверное снижение коэффициента малонатрезистентно-го дыхания до $0,58 \pm 0,03$ против $0,76 \pm 0,03$ в контроле, что на 23,7% меньше, чем в контроле. Это свидетельствует о снижении влияния жирных кислот в тканях семенников инкорпориро-ванных животных (табл. 2).

Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что изменения дыхательной активности в митохондрии тканей семенников при поступлении радионуклида в организм и инкорпорации в дозе 800 Бк/Кг сопровождаются выраженным разобщением ОФ. Об этом свидетельствуют ре-зультаты проб ТД и ОФ, полученные с использованием разобщителя 2,4 ДНФ (табл.1).

Полученные данные позволяют предположить о повреждениях в дыхательной цепи и мембранах митохондрий, а также отражают снижение резервов жирных кислот в мембранах митохондрий тканей семенников вследствие воздействия инкорпорации ^{137}Cs [12, 16].

Принимая во внимание важную роль ЖК в энергообеспечении активно функциони-рующих тканей семенников [16], отметим, что такое снижение может сопровождаться значи-тельным спадом эффективности энергетического обмена.

Представленные данные свидетельствуют об активизации скорости дыхания в мито-хондриях семенников. В частности, при окислении в присутствии эндогенных и экзогенных субстратов существенно разобщается окислительное фосфорилирование. Выявленная акти-

вация дыхания в митохондриях семенников крыс, инкорпорированных ^{137}Cs , на наш взгляд, может быть связана с диссипативным, неэкономным типом энергии, который проявляется в виде резкой стимуляции дыхательной активности тканей семенников.

Наши данные находятся в соответствии с данными, указывающими на очень высокую чувствительность семенников к окислительному стрессу, вызванному действием вредных и экологических факторов [3,6, 8].

Выводы

Таким образом, исследования показали, что система митохондриального окисления семенников животных отличается высокой чувствительностью к действию внутреннего облучения, вызванного инкорпорацией основного дозообразующего радионуклида «постчернобыльского» пространства – ^{137}Cs , что хорошо согласуется с представлениями о высокой радиочувствительности семенников к действию малых доз радиации. Полученные результаты позволяют сделать заключение, о том что введение радионуклида ^{137}Cs приводит к активации дыхания при всех метаболических состояниях, а также к изменениям функционирования митохондрий семенников. Кроме того, получен результат, свидетельствующий о том, что митохондрии тканей семенников обладают высокой чувствительностью к действию внутреннего облучения, вызванного инкорпорацией основного дозообразующего радионуклида «постчернобыльского» пространства – ^{137}Cs , что, в конечном итоге, может привести к развитию стойкого низкоэнергетического состояния и формированию дисфункции репродуктивного здоровья человека и животных.

Литература

1. Альжабар, А. Митохондриальное окисление селезёнки крыс в условиях инкорпорации ^{137}Cs / А. Абдулкадер //Проблемы здоровья и экологии. - 2007. - №14. –С.145-149.
2. Грицук, А. И. Митохондриальное окисление и ультраструктура миокарда при инкорпорации радионуклидов цезия / Т. Г. Матюхина, А. Н. Коваль, и д // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2002. – № 2. – С. 40–44.
3. Карпенко, Н.А.Сексуальная функция самцов крыс, подвергнутых действию комплекса факторов зоны отчуждения ЧАЭС/ Н.А. Карпенко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2000. – Т.40, №1. – С.86-91.
4. Коваль, А. Н, Тканевое дыхание печени крыс при облучении в сверхмалых дозах инкорпорированными радионуклидами цезия / А. Н Коваль, С. М.Сергеенко, А. И.Грицук // Авиакосмическая и экол. медицина . – 2002. – № 5, С. 60–62.
5. Кондрашова, М.Н. Руководство по изучению биологического окисления полярографическим методом / М.Н. Кондрашова, А.А. Ананенко.– М.– 1973.– С. 106–119.
6. Конопля, Е.Ф. Отдаленные эффекты внешнего облучения репродуктивной системы половозрелых крыс-самцов/ Е.Ф. Конопля, О.Л. Федосенко// Проблемы здоровья и экологии. - 2008. – №18. – С.117–119.
7. Кочетков, Г.А. Практическое руководство по энзимологии / Г.А. Кочетков.– М.– 1980.– 220 с.
8. Мамина, В.П. Оценка цитофизиологического состояния семенников мелких млекопитающих, обитающих в условия повышенного радиационного фона / В.П. Мамина// Радиационная биология. Радиоэкология. – 2005. – Т.45, №1.– С 91–95.
9. Попов, Е.Г. Рецепция андрогенов в семенниках крыс: анализ эффектов инкорпорированных ^{137}Cs , LI и внешнего облучения / Попов Е.Г, Куц Ф.И., Белоусов О.Л. // Вестн НАН Беларуси Сер. б1ял. Навук.–2001.– №2.– С.95–99.
10. Саакян, И.Р. Участие митохондрий печени в адаптационных реакциях организма при пересадке сердца у крыс // И.Р. Саакян, Вопросы медицинской химии. – Москва, 1981.– Т. 27 (6).– С. 755-759.

11. Branka, D. Does occupational exposure to low-dose ionizing radiation induce cell membrane damage? / D. Branka, S. Vesna // Arch. Oncol. – 2004. – Vol.12, №4. – P.197-199.
12. Grace J. Mitochondrial dysfunction, persistently elevated levels of reactive oxygen species and radiation-induced genomic instability, / J. Grace, Kim Krish Chandrasekaran and William F. Morgan // Mutagenesis -2006.- №.6.- P: 361-367.
13. Grafstro, M.G. Rat testis as a radiobiological in vivo model for radionuclides. Radiation protection / M.G. Grafstro [et.al] // Dosimetry. – 2006. – Vol.118, №1. – P. 32–42.
14. Grignard, Elise. In vivo effects of chronic contamination with ¹³⁷cesium on testicular and adrenal steroidogenesis / Elise Grignard. [et.al] // Arch Toxicol. – 2008. – Vol.82, №9. – P.583–589.
15. Liaginskaia, A.M. [Kinetics of metabolism and mechanisms of formation of absorbed doses in the mouse testis from incorporated ¹³⁷Cs] / A .M. Liaginskaia, V.A. Osipov, S.I. Dement'ev // Radiats Biol Radioecol. – 1998. – Vol. 38, №1 – P. 27-30.
16. Vazquez-Memije, M. Respiratory chain complexes and membrane fatty acids composition in rat testis mitochondria throughout development and ageing / M. Vazquez-Memije [et.al] // Exp. Gerontol. Jun. – 2005. – Vol. 40, №6. – P. 482-490.
17. Wai-Nang, Paul Lee. Metabolic strategy of boar spermatozoa revealed by a metabolomic characterization / Paul Lee. Wai-Nang, S. Marin [et.al] // FEBS Lett. – 2003. – Vol.554, №3. – P 342–346.

Феромонная регуляция плодовитости самок непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.)

А. Е. ПАДУТОВ, Н. С. БЛИНОВА, Е. Н. УСАНОВА, Н. В. МАЛЬЦЕВА

Выявлен ранее не изученный механизм регуляции численности в популяциях непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.), который заключается в снижении плодовитости самок этого вредителя лесов при увеличении в воздухе концентрации их полового феромона. Проведена опытная проверка, и показана возможность снижения плодовитости самок непарного шелкопряда путем искусственного насыщения воздуха половым феромоном, как в условиях лаборатории, так и в естественной популяции непарного шелкопряда.

Ключевые слова: Непарный шелкопряд, половой феромон, плодовитость самок, численность вредителей, очаг, регуляция численности, хвое-листогрызущие вредители.

Abstract. An unexplored mechanism of magnitude population regulation of gipsy moth (*Lymantria dispar* L.) is revealed. It is expressed in reduction of females' fertility of these forest pests. This phenomenon occurs when there is an increase in concentration of their sexual pheromone in the air. An experimental assay has been realized, and the possibility of reduction of gipsy moth females' fertility has been shown by means of artificial saturation of the air with sexual pheromone, both in the laboratory condition and in natural population of gipsy moth.

Keywords: Gipsy moth, sex pheromone, females' fertility, abundance of vermin, locus, abundance regulation, coniferous-leaf-beetles vermin.

Введение

В настоящее время общепризнанным является тезис о том, что в сформировавшемся очаге насекомых, вредителей леса, на стадии его кульминации изменяется половой индекс популяции вредителя в сторону увеличения числа самцов и снижается плодовитость самок [1]. Основной причиной этого считается нехватка корма гусеницам при высокой численности вредителя. Это приводит к снижению веса куколок самок и соответственно к уменьшению их плодовитости, при этом зависимость между данными показателями признается линейной [1], чем выше вес куколки, тем большее число яиц отложит вышедшая из нее самка. Однако авторами данной статьи в 2010 году, при выращивании непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) в условиях контролируемой лабораторной культуры на искусственной питательной среде показали, что это лишь потенциальная возможность. Реальная же плодовитость самок очень сильно варьирует, и самка, отродившаяся из мелкой куколки (до 1100 мг) может отложить значительно больше яиц, чем самка вышедшая из крупной (более 1300 мг) куколки [2].

Плодовитость самок непарного шелкопряда по данным разных авторов, в зависимости от географического района и фазы развития очага, сильно колеблется и в кладках бывает от 150 до 1200 яиц [1, 3] и даже до 1500 [4]. В Гомельском Полесье в природных популяциях непарного шелкопряда в разные годы фиксировались кладки, содержащие 262 – 923 яиц [5, 6]. В то же время, при выращивании непарного шелкопряда в условиях лабораторной культуры, неоднократно указывалось на снижение плодовитости самок до 250 – 460 яиц в кладке [7, 8]. Чаще всего это объясняют весом куколок, качеством корма, параметрами среды или стрессом при массовом выращивании. Тем не менее, возможны и другие причины снижения плодовитости самок вредителя при массовом содержании. Одной из таких причин может быть увеличение концентрации полового феромона в воздухе при большом числе самок в садке. Так, А. Л. Монастырский и В. В. Горбатовский указывают, что при увеличении размеров садка для содержания имаго, а, следовательно, и количества самок в нем, плодовитость непарного шелкопряда снижается [9]. Снижение плодовитости самок при увеличении феромонного фона в воздухе было также зафиксировано при лабораторном культивировании капустной совки [10] и в

естественной популяции непарного шелкопряда [11], при изучении вопроса о феромонной дезориентации самцов. Однако, объяснения этим фактам дано не было.

Целью данной работы являлось изучение влияния высоких концентраций полового феромона на плодовитость самок непарного шелкопряда.

Материал и методы исследований

Изучение вопроса, которому посвящена данная работа, проводилось в течение длительного периода. В 1991-2000 годах проводились работы по исследованию динамики численности, плодовитости и факторам смертности непарного шелкопряда в хроническом очаге вредителя в дубраве порослевого происхождения в Приднестровском лесничестве, ранее Речицкого, а ныне Лоевского лесхоза. Для изучения плодовитости самок подсчитывалось число яиц в 10 – 30 кладках в зависимости от численности вредителя.

Исследование воздействия больших доз синтетического полового феромона непарного шелкопряда на плодовитость самок в природной среде выполнялось в 2006-2007 годах в березовом насаждении зеленой зоны п. Коммунар (Гомельский район), где в течение ряда лет функционирует небольшой хронический очаг непарного шелкопряда. Численность вредителя в этом 50-летнем насаждении выше фонового, но незначительна (от 3,4 до 7,4 яйцекладок на 100 деревьев в зависимости от участка и года исследования). Для насыщения насаждения половым феромоном использовался синтетический феромонный препарат «Лимвабокс – НШ», применяемый в Беларуси для надзора за этим видом вредителя.

Насыщение воздуха опытного участка осуществлялось по разработанной авторами методике, заключающейся в пропитке мелкой крошки натурального происхождения (из абрикосовой косточки) феромонным препаратом и, по возможности, равномерном ее разбрасывании по участку. В результате образуется множество мелких точечных источников полового феромона. В изучаемом насаждении было подобрано два участка площадью 0,25 га каждый. При этом экспериментальный и контрольный участки находились на расстоянии 500 метров. Для оценки плодовитости самок непарного шелкопряда подсчитывалось число яиц в отложенных самками яйцекладках в опыте и контроле (10 яйцекладок с опытного участка и 5 яйцекладок с контрольного участка).

В феврале 2007 года из собранных яйцекладок непарного шелкопряда были отрождены и выкормлены гусеницы до стадии имаго. Выкормка гусениц проводилась в лаборатории на искусственной питательной среде (ИПС) и по технологии, ранее разработанным в Институте леса НАНБ [7, 12]. Условия содержания гусениц из опытных яйцекладок и контрольных были одинаковыми: 18-часовой световой режим при температуре 20-24 °С. В процессе выкормки гусениц учитывались процент отрождаемости яиц, процент выживаемости гусениц и соотношение полов.

Работы по изучению влияния высокой дозы естественного полового феромона непарного шелкопряда на репродуктивный потенциал самок в условиях искусственной, контролируемой среды проводился в 2008-2009 годах из собранных в природе яйцекладок непарного шелкопряда. Яйцекладки были собраны в березовом насаждении зеленой зоны п. Коммунар (Гомельский район) с опытного участка (где в 2006-2007 годах проводились эксперименты по насыщению воздуха синтетическим феромонным препаратом «Лимвабокс-НШ» и было выявлено снижение плодовитости самок) и с контрольного участка (где опыты не проводились). Выкормка гусениц проводилась в лаборатории Института леса по ранее указанной технологии. В процессе выкормки гусениц учитывались процент отрождаемости яиц, процент выживаемости гусениц, соотношение полов и плодовитость выращенных самок. Яйцекладки нового поколения получали в двух вариантах: 1) от самок при массовом содержании (более 100 самок плюс самцы в одном садке; 2) от самок при одиночном содержании (1 самка плюс самцы в одном садке).

Результаты и обсуждение

За десятилетний период (1991-2000 гг.) изучения динамики численности непарного шелкопряда и его плодовитости в естественном хроническом очаге в Приднестровском лес-

ничестве популяция этого вредителя прошла почти полный цикл развития, от нарастания численности с максимумом в 1997-1998 годах до падения численности почти к первоначальным цифрам [5]. Динамика численности и плодовитости непарного шелкопряда за этот период представлена на рисунке 1.

Обращает на себя внимание тот факт, что плодовитость самок, которая показывает репродуктивный потенциал вредителя, за время исследований снизилась значительно, причем снижение началось за долго до пика численности. В это время численность непарного шелкопряда, хотя и была повышенной, но говорить о недостатке пищи для гусениц не представляется возможным. Следовательно, причиной снижения плодовитости самок вредителя являлась не сильная внутривидовая конкуренция за пищу и ослабление особей, а другой фактор.

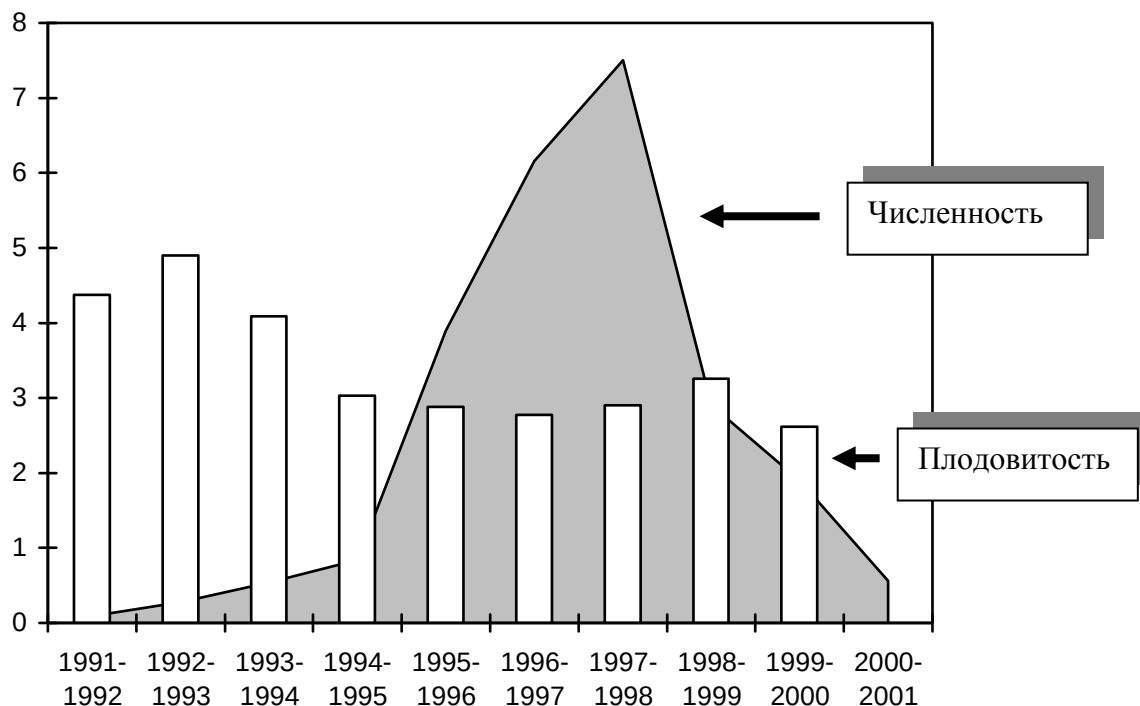


Рисунок 1 – Динамика численности и плодовитости непарного шелкопряда в хроническом очаге Приднепровского лесничества за 10 лет

Изучение возможности воздействия феромонных препаратов на репродуктивный потенциал самок непарного шелкопряда проводилось в 2006-2007 годах. Для проведения исследований были выбраны 2 участка в березовой роще в районе птицефабрики «Коммунар» (Гомельский район). Контрольный участок был удален от экспериментального участка на расстояние 500 метров. На опытный участок летом 2006 года внесен половой феромон непарного шелкопряда в виде абрикосовой крошки, пропитанной стандартным синтетическим препаратом полового феромона «Лимвабокс – НШ» и равномерно разбросанной на пробных площадях в очаге вредителя. В результате чего в насаждении было создано большое число точечных источников феромона и общая концентрация феромона в воздухе резко повысилась. Было разбросано 400 г крошки, пропитанной 200-ми мг феромона, что дало более 8 тысяч точечных источников феромона. На учетной площади на 225 деревьях было найдено 20 яйцекладок вредителя.

Осенью 2006 года были собраны 15 яйцекладок с двух участков, в лабораторных условиях подсчитано количество яиц в каждой. Яйцекладки хранились в холодильнике, т. к. эмбриону необходима холодовая стратификация не менее 3 месяцев.

В феврале 2007 года часть яйцекладок было поставлено на отрождение: 10 шт. – с участка, обработанного половым феромоном, 5 шт. – с контрольного. Гусеницы из двух яйцекла-

док с первого участка не отродились, поэтому в дальнейшем использовались данные развития по восьми яйцекладкам. Данные по развитию непарного шелкопряда приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Развитие непарного шелкопряда на ИПС

№ яйце-кла-дки	Отрождение					% вы-жива-ния: гу-сеница – бабочка	Коли-чество сам-цов шт.	Коли-чество самок шт.
	дата постанов-ки на отрождение	дата начала отрождения	кол-во яиц в яйцккладке	кол-во отр-ся гусениц	% от рождения			
ОПЫТ								
1	5. 02. 07	9. 02. 07	424	234	55, 2	79, 4	85	101
2			548	221	40, 3	49, 3	60	49
3			10. 02. 07	333	234	70, 3	68, 4	78
4	8. 02. 07	13. 02. 07	397	310	78, 1	52, 3	74	88
5		13. 02. 07	431	131	30, 4	62, 6	35	47
6		13. 02. 07	503	175	34, 8	72, 6	75	52
7		12. 02. 07	577	527	91, 3	52, 0	152	122
8		12. 02. 07	490	359	73, 3	74, 4	124	143
Сумма			3703	2191			683	684
Х _{сред.}			462, 9 ±28, 8	274	59, 2 ±13, 2	62, 3	85	86
КОНТРОЛЬ								
1к	5. 02. 07	10. 02. 07	744	548	73, 7			
2к		10. 02. 07	675	508	75, 3			
3к		9. 02. 07	557	501	89, 9			
4к		9. 02. 07	649	601	92, 6			
5к		9. 02. 07	638	408	63, 9			
Сумма			3263	2566			836	755
Х _{сред}			652, 6 ±30, 2	513	79, 1 ±5, 4	62, 0	167	151

Данные таблицы 1 показывают, что насыщение насаждения половым феромоном непарного шелкопряда вызывает у самок вредителя резкое снижение плодовитости (на 28,4 %), уменьшается доля отродившихся из яйцекладок гусениц (почти на 20 %). Если учитывать, что из двух яйцекладок с опытного участка вообще не отродились гусеницы, то снижение уровня отрождения здесь составило более 30 %. Необходимо также отметить, что процент выживания гусениц до стадии бабочки в опыте и контроле при лабораторном разведении был одинаков, а соотношение полов 1:1 было оптимальным для непарного шелкопряда. Первое свидетельствует, что условия содержания обеих партий гусениц было идентичным, а второе, что у гусениц не было недостатка в корме и отсутствовала пищевая конкуренция.

В июле 2007 года опыт по насыщению опытного насаждения феромоном непарного шелкопряда был повторен. Причем опытный участок был заложен так, чтобы половина его приходилась на прошлогодний опытный участок, а половина была за пределами него. На участке было разбросано 500 г абрикосовой крошки, пропитанной 250 мг феромона, что дало около 10 тысяч точечных источников феромона.

На опытном участке на 203 деревьях обнаружено 15 яйцекладок, десять из которых были собраны и доставлены в лабораторию. На контрольном участке на 253 деревьях найдено 10 яйцекладок, 6 из которых также были сняты для подсчета числа яиц.

В лабораторных условиях по стандартной методике было подсчитано количество оплодотворенных и неоплодотворенных, а также видоизмененных (больных) яиц в каждой яйцекладке. Характеристика собранных яйцекладок приведена в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, на опытном участке наблюдается устойчивое снижение плодовитости вредителя. Кроме того, на втором году исследований появились видоизмененные яйца, а также увеличилось количество неоплодотворенных яиц на экспериментальной площади. Таким образом, обнаруженная в 2006 году тенденция к снижению плодовитости самок вредителя при насыщении насаждения половым феромоном, является не случайной флуктуацией, а закономерностью, подтвержденной в 2007 году.

Таблица 2 – Учет яиц в яйцекладках непарного шелкопряда на опытном и контрольном участках в 2007 году

№ яйцекладки	Кол-во яиц в яйцекладке	Количество неоплодотворенных яиц	Примечания
Опытный участок			
1	698	71	14 больных
2	386	50	20 больных
3	551	2	2 больных
4	376	–	
5	577	–	
6	617	–	
7	370	–	
8	793	–	8 больных
9	337	1	
10	146	–	
Среднее	485, 1±61, 7	12, 4	4, 4
Контроль			
12	496	–	1 больное
13	428	1	1 больное
14	601	1	1 больное
15	923	1	
16	529	1	
17	858	–	
Среднее	639, 2±83, 1	0, 67	0, 5

В 2008-2009 годах работы были продолжены в условиях контролируемой среды при выращивании непарного шелкопряда в лаборатории, при этом исходные яйцекладки брались в природе в тех же участках, что и ранее, но на опытном участке в эти годы синтетический феромонный препарат не вносился.

Для изучения влияния высокой концентрации естественного полового феромона непарного шелкопряда на репродуктивный потенциал самок в условиях контролируемой среды в опытном и контрольном участке было собрано по 5 более или менее одинаковых по объему яйцекладок и произведена выкормка отрожденных из них гусениц до стадии имаго и получены яйцекладки нового поколения. Бабочки вредителя содержались в стеклянных сосудах, в которых высокой численностью самок (следовательно, и высоким фоном естественных феромонов, которые они выделяют) имитировалось массовое размножение непарного шелкопряда в очаге. Это, в частности, являлось лабораторным повторением опыта, проведенного в природных условиях (насыщение синтетическим феромоном насаждения). Результаты представлены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что снижение количества яиц в яйцекладках нового поколения, полученных в условиях массового содержания самок непарного шелкопряда, по сравнению с маточными (исходными) яйцекладками, произошло в обеих исследуемых груп-

пах вредителя. Среднее число яиц в яйцекладках и в группе с опытного участка и в группе с контрольного участка практически одинаково и синхронно снизилось на 45,8 % (опытный участок) и 47,8 % (контрольный участок).

Таблица 3 – Учет численности яиц в исходных и дочерних яйцекладках непарного шелкопряда

Группа	№ исходной яйцекладки из которой получены самки	Количество яиц в исходной яйцекладке, шт	Количество проанализированных яйцекладок нового поколения, шт.	Среднее количество яиц в яйцекладках нового поколения, шт.
Опытный участок	1	698	7	335
	2	386	8	268
	3	551	8	317
	4	577	7	305
	5	617	7	311
Среднее		566		307
Контрольный участок	1к	496	5	289
	2к	428	4	340
	3к	601	7	228
	4к	529	10	334
	5к	858	7	331
Среднее		582		304

Кроме того, из контрольной группы были заранее случайным образом отобраны 6 куколок непарного шелкопряда и помещены для откладки яиц по одной самке и 10 самцов в каждый сосуд. Сосуды размещались в разных помещениях (1 сосуд и 1 самка на помещение), чтобы снизить влияние феромонов других самок вредителя. В обоих случаях (одиночное и массовое содержание) использовались самки, полученные из одних и тех же исходных яйцекладок и выращенных в одинаковых условиях, но содержащихся при откладке яиц при разном количестве самок в сосуде. Полученные данные приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Количество яиц в яйцекладках при одиночном и общем содержании самок

№ исходной яйцекладки из которой получены самки и самцы	Количество яиц в яйцекладках, шт.	
	Одиночное содержание	Общее содержание
	Среднее	Среднее
1к	512	289
2к	426	340
3к	403	228
5к	417	331
Среднее	433	310

Из данных таблицы 4 видно, что самки непарного шелкопряда, полученные из одних и тех же яйцекладок с контрольного участка и выращены в абсолютно одинаковых условиях, дали разницу в количестве отложенных яиц в 28 % при одиночном и массовом их содержании.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлен ранее неизученный механизм регуляции численности у непарного шелкопряда, который заключается в воздействии полового феромона на самих самок, и при насыщении воздуха половым феромоном снижается их плодовитость. Это позволяет исключить образование чрезмерной численности вредителя в очаге и гибели их популяции. Опытным путем, как в природной популяции, так и в лабораторной культуре произведено снижение плодовитости самок непарного шелкопряда путем искусственного насыщения воздуха половым феромоном.

Поскольку факт снижения плодовитости при высоком феромонном фоне в воздухе зафиксирован не только у непарного шелкопряда, но и у другого вредителя – капустной совки [10], можно предположить, что данный механизм регуляции численности характерен и для других открытоживущих видов хвое-листогрызущих вредителей, использующих феромонную коммуникацию.

Наличие такого механизма снижения плодовитости самок позволяет предложить новый метод ограничения роста численности вредителей в очагах, заключающийся в искусственном внесении в очаг, на ранней стадии его формирования, синтетических феромонных препаратов, что существенно затруднит его образование.

Литература

1. Воронцов, А. И. Лесная энтомология: учебник для вузов / А. И. Воронцов – М. : Экология, 1995. – 362 с.
2. Падутов, А. Е. Феромонная коммуникация и плодовитость непарного шелкопряда при его выращивании в условиях контролируемой среды / А. Е. Падутов, Н. С. Блинова, Е. Н. Усанова // Проблемы лесоведения и лесоводства. Сб. науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. – Гомель, 2009. – Вып. 69. – С. 684-689.
3. Хотько, Э. И. Атлас насекомых – вредителей лесных пород Беларуси / Э. И. Хотько, Я. И. Марченко, Т. М. Шаванова – Мн. : ГП «Минская печатная фабрика», 1999. – 128 с.
4. Ильинский, А. И. Определитель вредителей леса / А. И. Ильинский – М. : Сельхозиздат, 1962. – 392 с.
5. Падутов, А. Е. Состояние популяции непарного шелкопряда и факторы его смертности в Лоевском очаге вредителя в 1996 – 2000 годах / А. Е. Падутов, Н. А. Падутова, Г. М. Емельянчик, А. Е. Силин // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сборник научных трудов ИЛ НАН Беларуси. Вып 52. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2001. – С. 191 – 198.
6. Падутов, А. Е. Реакция популяции непарного шелкопряда на насыщение воздуха синтетическим половым феромоном / А. Е. Падутов, Н. С. Блинова, Е. Н. Усанова // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сборник научных трудов ИЛ НАН Беларуси. Вып 68. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2008. – С. 529 – 533.
7. Дубко, Л. А. Биологические основы культивирования некоторых видов волнянок: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук / Л. А. Дубко; Московский госуниверситет леса. – М., 1995. – 22 с.
8. Новикова, Л. К. Непрерывное культивирование листогрызущих вредителей / Л. К. Новикова, А. П. Бирюкова, Л. Н. Солонкина, Ю. А. Масюк // Тез. докл. II Всесоюзной конф. по промышленному разведению насекомых, 1989. – С. 91 – 92.
9. Монастырский, А. Л. Массовое разведение насекомых для биологической защиты растений: справочник / А. Л. Монастырский, В. В. Горбатовский. – М. : Агропрмиздат, 1991. – 240 с.
10. Настасе, Т. Половые феромоны и их действие на фазы развития вредителей / Т. Настасе / Защита растений – стратегия и тактика защиты растений: Матер. научн. конф., Мн., 2006. – с. 487–491.
11. Бедный, В. Д. Технология применения диспарлюра в лесозащите / В. Д. Бедный / Кишинев: Штиинца. – 1984. – 168 с.
12. А. с. 1824126. Питательная среда для гусениц лесных насекомых-фитофагов / Л. А. Дубко, Л. И. Сивцова, Н. С. Блинова. – 1993.

Суточная динамика артериального давления и ее связь с функциональной активностью шишковидной железы

Н. С. РУДЕНКОВ, А. В. КОВАЛЕВ, Д. Н. ДРОЗДОВ

Проведенное исследование позволило установить корреляционную связь между активностью шишковидной железы, как главного источника мелатонина и уровня артериального давления в вечернее и ночное время. Сличение динамики артериального давления и содержания гормонов эпифиза поддается математическому моделированию, что актуально в отношении использования современных методов контроля артериального давления. В первую очередь для холтеровского мониторинга, а также для уточнения факторов определяющих уровень артериального давления при различных функциональных состояниях организма. Данная взаимосвязь получила статистическое подтверждение и может быть описана логарифмической функцией. Установлено, что повышение артериального давления в утренние часы связано с повышением концентрации серотонина в крови (корреляция 0,94). Последующее снижение уровня артериального давления в дальнейшем определяется поступлением серотонина из тромбоцитов крови.

Ключевые слова: эпифиз, мелатонин, серотонин, систолическое артериальное давление, циркадные ритмы.

The article presents the results of the research on the relationship between blood pressure in night and day time and the activity of the pineal gland as the main source of melatonin. The estimation of the relationship between the blood pressure dynamics and epiphysis hormone content (melatonin and serotonin) can be mathematically modeled, which is actual in terms of using modern methods of blood pressure control. Firstly, for Holter monitoring, secondly, for specifications of factors defining the level of blood pressure at various functional conditions of an organism. The given interconnection has been statistically demonstrated and can be shown in a logarithmical function. The increase in blood pressure in the morning is connected with the increase in serotonin concentration in blood (correlation 0,94). The subsequent reduction of blood pressure is further defined by serotonin receipt from blood platelets.

Keywords: epiphysis, melatonin, serotonin, systolic blood pressure, circadian rhythms.

Введение

Одним из внутренних свойств множественных структур организма является наличие сложных процессов синхронизованных во времени. Регуляция количественных, следовательно, и качественных изменений биологических процессов происходит на разных уровнях организации живого организма. Происходящие процессы на молекулярном и клеточном уровне находят свое отражение в специфике работы системы органов, определяющих важные константы организма. К таким константам можно отнести артериальное давление, суточные колебания которого для здорового человека имеют свой диапазон нормы и, тем не менее, в течение суток, претерпевает колебания.

Колебания АД в течение суток подвержены четкому циркадному ритму [1, 2]. Устойчивые изменения в динамике артериального давления в течение суток имеют двухфазный ритм, который характеризуется ночным снижением АД на 10-20% по сравнению со среднедневным уровнем. Выраженность двухфазного ритма зависит от возраста и расовой принадлежности: у лиц пожилого возраста и афроамериканцев часто отсутствует ночное снижение АД [3, 4].

Согласно современным представлениям, внутренняя регуляция биоритмов определяется функционированием так называемых биологических часов, которое включают в себя трехуровневую организацию: эпифиз (шишковидная железа) – супраоптическая часть гипоталамуса – уровень клеточных и субклеточных мембран. Роль основного водителя ритма в предложенной системе отводится супрахиазмальному ядру гипоталамуса, а роль мессенджера приносящего информацию о ритмах – гормону мелатонину, который преимущественно продуцируется эпифизом из триптофана.

Активность эпифиза зависит от периодичности освещения. На свету синтетические и секреторные процессы в нём ингибируются, а в темноте – усиливаются. Световые импульсы воспринимаются рецепторами сетчатки и поступают в центры регуляции симпатической нервной системы головного и спинного мозга и далее – в верхние шейные симпатические ганглии, дающие начало иннервации шишковидной железы. В темноте ингибиторные нервные влияния исчезают и активность эпифиза возрастает. Эпифиз выделяет мелатонин ритмично, под контролем скопления нейросекреторных клеток — супрахиазматических ядер, расположенных слева и справа в гипоталамусе, над перекрестием зрительного нерва. Эти парные часы получают информацию о свете и темноте от глаз. Ежедневные порции мелатонина в свою очередь синхронизируют прочие циркадианные колебания, в число которых, по-видимому, входит и регуляция уровня артериального давления [5].

Цель работы состояла в том, чтобы рассмотреть суточную динамику артериального давления и соотнести полученные результаты с динамикой содержания мелатонина в крови.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования нами была сформирована выборка из 12 человек. В состав выборки вошли 7 мужчин в возрасте от 30 до 40 лет и 5 женщин, той же возрастной группы. В данном случае мы использовали объединенную выборку, принимая во внимание, что отклонение уровня артериального давления мужчин и женщин не превысило 5%. Измерения артериального давления проводились у каждого человека в течение суток через каждый час, по три измерения. Значения усреднялись по каждому часу для каждого индивидуума. Для некоторых членов выборки (для 7 человек) данные в ночное время ограничивались 1 – 2 часом ночи и шестью часами утра. Таким образом, для всех членов выборки было получено в общей сложности 756 измерений артериального давления. Измерения проводились механическим тонометром Microlife.

Для сопоставления динамики артериального давления с концентрацией мелатонина в крови использовались литературные данные, приведенные в работе [6]. Статистическая обработка полученных результатов была выполнена с помощью пакетов программ Microsoft Office и Statistica 6.0. В работе были использованы методы корреляционного и регрессионного анализа.

Результаты и их обсуждение

В ходе анализа полученных данных и данных содержания мелатонина в крови было установлено, что в течение суток наблюдается два выраженных пика в динамике артериального давления и один, весьма характерных, пик для концентрации мелатонина. Вид кривых, отражающий характер динамики артериального давления и суточной концентрации мелатонина представлен на рисунке 1. В данном случае мы использовали стандартизированные значения используемых показателей, для более наглядного отражения общей тенденции. Стандартизация каждого значения проводилась по величине стандартного отклонения согласно [7].

Как видно из рисунка 1, характер изменений систолического и диастолического давления в течение суток синхронизирован, с некоторым отклонением в период 6 – 7 часов утра. В этой точке уровень систолического давления несколько запаздывает с подъемом по отношению к уровню диастолического давления. Притом, что концентрация мелатонина, на этом промежутке, остается практически неизменной и, следовательно, не влияет на процессы, происходящие в данном отрезке времени.

В последующий период времени фазы систолического и диастолического давления сходятся на отрезке 19–21 часа, достигая своего максимального значения. Обращает внимание на себя тот факт, что максимум уровня артериального давления приходится на начальный момент нарастания концентрации мелатонина в крови, который наблюдается с 20 часов вечера. В дальнейшем мы наблюдаем два разнонаправленных процесса – резкое снижение и

систолического, и диастолического давления, на фоне не менее резкого подъема концентрации мелатонина в крови.

Используя регрессионную функцию вида $y=ax+b$, мы аппроксимировали участок кривой на отрезке времени от 20:00 до 1:00 часа для систолического артериального давления и концентрации мелатонина. Полученные уравнения позволяют соотнести динамику артериального давления и уровня мелатонина в крови. В обоих случаях коэффициент аппроксимации составил 0,94 (коэффициент корреляции соответствует 0,97).

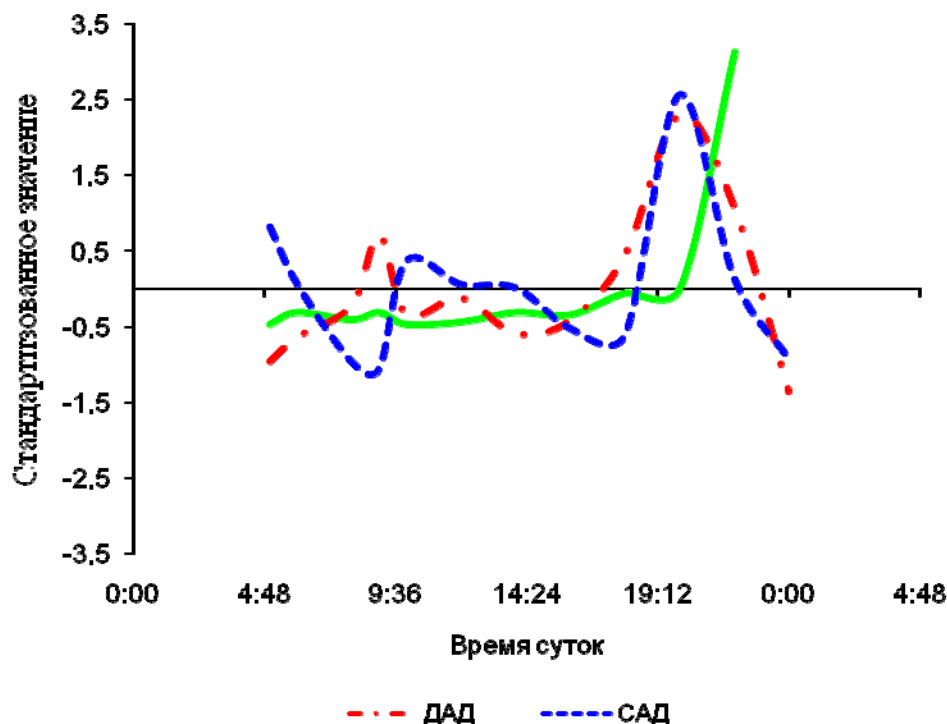


Рисунок 1 — Суточная динамика артериального давления и уровня мелатонина в крови

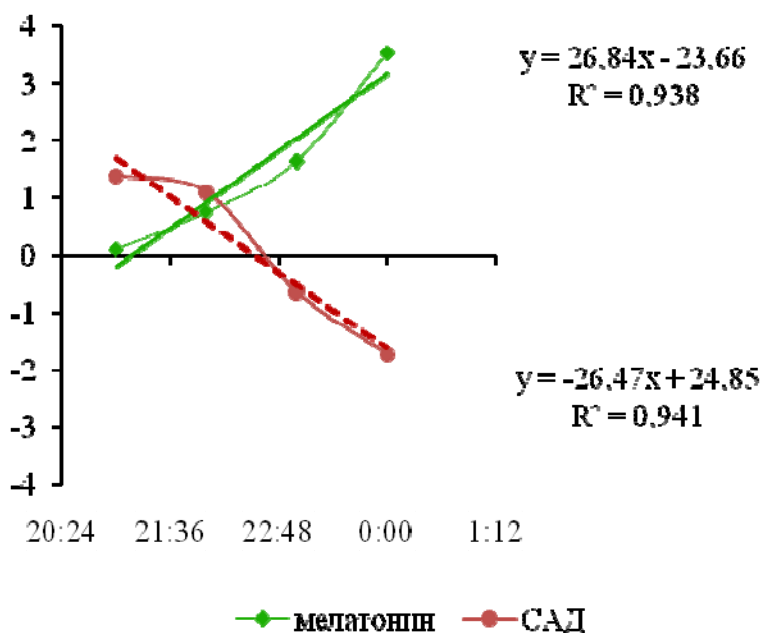


Рисунок 2 — Соотношение систолического давления и концентрации мелатонина в вечернее и ночное время

На рисунке 2 мы видим, что линии аппроксимации создают своеобразные «ножницы», указывающие на то, что скорость снижения артериального давления, на выбранном отрезке времени, обратно пропорциональна скорости повышения концентрации мелатонина в крови. Таким образом, проанализировав поведение гемодинамических показателей и динамику концентрации мелатонина в течение суток можно выделить два участка времени, где наблюдается связь между этими показателями. Были выделены два периода: с 20:00 часов и до 01:00 часов (отрезок II) и период, где взаимосвязь между показателями уже сложно проследить – с 5:00 до 19:00 (отрезок I).

Вследствие чего мы разделили суточную кривую на два отрезка и определили значения коэффициентов корреляции для каждого. Результаты проведенных расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент корреляции артериального давления, пульса и концентрации мелатонина в крови

Отрезок времени	Систолическое давление, мм. рт. ст.	Диастолическое давление, мм. рт. ст.	Пульс
I	0,16	-0,09	0,40
II	-0,88	-0,66	-0,70
Полные сутки	-0,23	-0,25	-0,01

Из таблицы 1 видно, что на отрезке времени с 5:00 до 19:00 зависимость между показателями отсутствует, что может свидетельствовать о том, что на динамику артериального давления в этот период мелатонин не действует. При этом следует обратить внимание на то, что уровень артериального имеет слабые флуктуации, а концентрация мелатонина практически не изменяется. На II отрезке мы видим довольно высокие значения коэффициентов корреляции, что позволяет предположить наличие зависимости уровня артериального давления от концентрации мелатонина в крови.

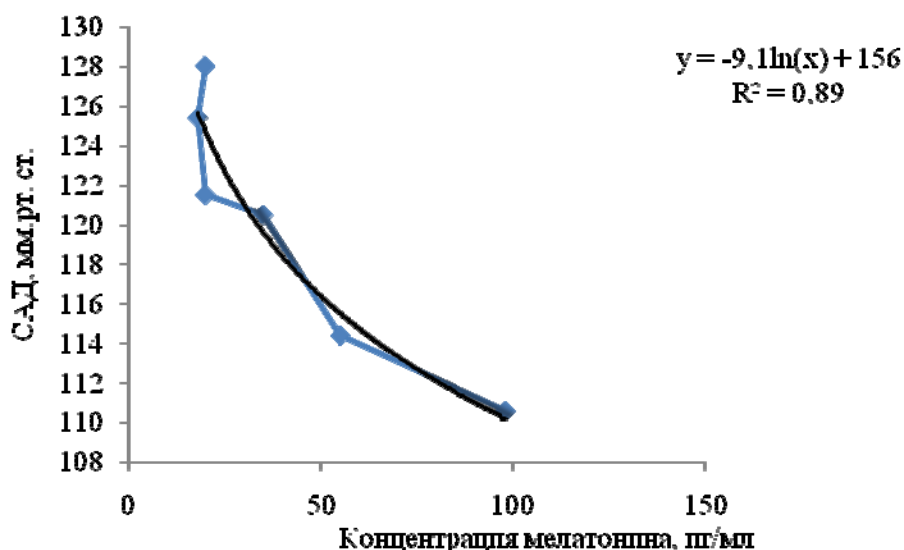


Рисунок 3 – Зависимость уровня артериального давления от концентрации мелатонина в крови в вечернее и ночное время

На рисунке 3 представлена зависимость падения уровня артериального давления крови при повышении концентрации мелатонина, которая довольно хорошо (коэффициент аппроксимации равен 0,89) описывается логарифмической функцией.

Изменения, происходящие с динамикой артериального давления в течение утренних и дневных часов, по-видимому, не связаны с продукцией мелатонина. В этот период времени

особое значение в регуляторных процессах гемодинамики принимает, по-видимому, предшественник мелатонина – серотонин, который вырабатывается на свету светлыми пинеалоцитами. В этот период времени холинергические нейроны блокируют дальнейший биосинтез мелатонина из сератонина (основного субстрата продукции мелатонина). Серотонин вызывает спазм сосудов, однако в состоянии физиологической нормы он депонируется в тромбоцитах.

Таким образом, повышение артериального давления в утренние часы может также быть связано с повышением концентрации серотонина в крови, а снижение уровня артериального давления в дальнейшем определяется поступлением его из тромбоцитов крови. В период времени, когда влияние солнечного света полностью отсутствует, блок со стороны холинергических нейронов симпатической нервной системы снимается и нарабатанная в течение дня концентрация серотонина светлыми пинеалоцитами, не поступившая в тромбоциты, преобразуется в мелатонин.

Заключение

Проведенное исследование позволило установить корреляционную связь между активностью шишковидной железы как главного источника мелатонина и уровня артериального давления в вечернее и ночное время. Сличение динамики артериального давления и содержания гормонов эпифиза поддается математическому моделированию, что актуально в отношении использования современных методов контроля артериального давления. В первую очередь для холтеровского мониторинга уровня артериального давления. А также для уточнения факторов, определяющих уровень артериального давления при различных функциональных состояниях организма. Данная взаимосвязь получила статистическое подтверждение и может быть описана логарифмической функцией. Установлено, что повышение артериального давления в утренние часы связано с повышением концентрации серотонина в крови (корреляция 0,94). Последующее снижение уровня артериального давления в дальнейшем определяется поступлением серотонина из тромбоцитов крови.

Литература

1. Mancia G., Gamba P., Omboni S. et al. Ambulatory blood pressure monitoring // J. Hypertension. – 1996. – Vol. 14 (Suppl. 2). – P. 62-68.
2. White W.B. Circadian variation of blood pressure: clinical relevance and implication for cardiovascular chronotherapeutics // Blood Press. Monitoring. – 1997. – Vol. 2. – P. 47-51.
3. Harshfield G.A., Hwang C., Grim C.E. Circadian variation of blood pressure in blacks: influences of age, gender and activity // J. Hum. Hypertension. – 1990. – Vol. 4. – P. 43-47.
4. Steassen J.A., Bieniazewski L., O'Brien E. et al. Nocturnal blood pressure fall on ambulatory monitoring in large international database // Hypertension. – 1997. – Vol. 29. – P. 30-39.
5. Фролова, В.А. Патофизиология / В.А. Фролова, Г.А. Дроздова, Д.П. Билибин. - Под ред. В.А. Фроловой. – М.: Медицинское информационное агентство, 2003. – С. 121-125.
6. Плехова, Е.И. Функциональная активность эпифиза, суточные и годовые ритмы Е.И. Плехова, С.И. Турчина // Вестн. пробл. биол. и мед. – 1998. – вып.20. – С. 95-97.
7. Бондаренко, Н.Н. Статистика: показатели и методы анализа: справ. пособие / Н.Н. Бондаренко, Н.С. Бузыгина, Л.И. Василевская и [др.]; Под ред. М.М. Новикова. – Мн.: «Современная школа», 2005. – 628 с.

Об обитании *Sylvaemus uralensis* (Pallas, 1811) на юго-востоке Беларуси и проблеме ее видовой диагностики

А. А. САВАРИН

Впервые приведены сведения по экстерьерным и краниометрическим характеристикам *Sylvaemus uralensis* (Pallas, 1811) отдельного региона Беларуси. Проанализированы диагностические признаки вида.

Ключевые слова: *Sylvaemus uralensis*, череп, диагностика, морфология, изменчивость.

The description of external and craniometrical characteristics of *Sylvaemus uralensis* (Pallas, 1811) collected samples is given and compared with literary data for the first time. The species diagnostic signs are analyzed in the article.

Keywords: *Sylvaemus uralensis*, skull, diagnostics, morphology, variability.

Введение

На территории Республики Беларусь обитает по неуточненным данным 76-77 видов млекопитающих [1, 2]. Список териофауны может быть расширен за счет возможных поимок некоторых видов мелких млекопитающих, прежде всего, на юге и юго-востоке страны (ввиду близости ареалов и проводимых здесь интенсивных исследований по уточнению видовой принадлежности зверьков и их морфологической изменчивости [3-6 и др.]).

Одним из слабо изученных видов остается малая лесная (или уральская) мышь *Apodemus (Sylvaemus) uralensis* Pallas, 1811 (syn. *A. microps*). Показателен тот факт, что за последние годы имеется лишь несколько сообщений о ее поимках на территории республики: в Пружанском и Березовском районах Брестской [7], Городокском районе Витебской [8] и Воложинском районе Минской [9] областей. К сожалению, в указанных и других работах диагностические признаки и их изменчивость отловленных особей на территории Беларуси не приводятся.

Вместе с тем, видовая диагностика *S. uralensis* и лесной мыши, *S. sylvaticus* (Linnaeus, 1758), нередко вызывает значительные трудности ввиду их высокой морфологической изменчивости, кариологической близости и значительного перекрытия ареалов. Например, лесные мыши Урала по целому комплексу диагностических признаков (размеры уха, длина задней ступни, высота черепа, параметры резцовых отверстий) имеют промежуточные признаки [10]. В этой связи для изучения биологии и экологии обитающих на территории Беларуси близких видов мышей (включая и желтогорлую, *S. tauricus* (Pallas, 1811) чрезвычайно важно выявить дифференцирующие их признаки путем тщательного анализа коллекционного фонда черепов [4]. Исследования одонтометрической изменчивости с целью идентификации видов лесных мышей проводятся во многих регионах [11].

В этой связи особую актуальность приобретают генетические исследования близких видов мышей [12-14 и др.]. Так, по последним данным [12] подтверждена четкая дифференциация малой лесной мыши *S. uralensis* на две популяционные группы (европейская и азиатская расы). Однако разобщенность близких восточно-европейской и южно-европейской хромосомных форм, составляющих европейскую расу, не поддержана однозначно статистическими методами. Вместе с тем, по характеру полиморфизма все хромосомные расы малой лесной мыши отличаются друг от друга, что обусловлено как историей их формирования, так и неодинаковыми экологическими условиями существования [12].

Согласно современным научным представлениям [15], ареал малой лесной мыши значителен: от Восточной Европы до северных районов Китая. В последние годы особи вида

отлавливались на прилегающей к Гомельскому Полесью Черниговской области [16].

Анализ ряда литературных источников дает возможность полагать, что в диагностике *S. uralensis* следует учитывать целый комплекс экстерьерных (более короткая ступня 17,5-22 мм; высота уха 13-15,5 мм и др.) и краниологических признаков (кондилобазальная длина до 23,5 мм, чаще 21-22 мм; его высота до 9,0 мм), но наиболее значимыми из них являются мелкие размеры, формы лобно-теменного шва (тупой угол) и задненебной вырезки (прямая), коронарная длина M_{1-3} (до 3,7 мм, чаще 3,3-3,5 мм) и др.

Целью нашей работы являлось уточнение тех диагностических признаков, которые следует использовать для дифференциации *S. uralensis* среди других видов лесных мышей в условиях юга и юго-востока Беларуси.

Материал и методы исследований

Основным материалом для работы послужили сборы мелких млекопитающих, проведенные автором с июня по ноябрь 1990 г. в северо-восточном пригороде г. Гомеля (правый берег р. Сож) на территории островного леса (березняк черничный). Указанное местообитание ограничено сельскохозяйственными угодьями (пастбищем и посевными культурами) и расположено вдоль железной дороги (рисунок 1).



Рисунок 1 – Место проведения исследований в северо-восточном пригороде г. Гомеля (выделено *)

Животные добывались стандартными ловушками Геро. Отловлено 22 особи лесной мыши (*S. sylvaticus sensu lato*). Для уточнения видовой принадлежности проанализированы метрические и фенетические краниологические характеристики наиболее сохранившихся черепов взрослых особей. Возраст зверьков определяли по степени стертости зубов и состоянию половой системы. Измерения проводились штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Индекс хвоста находили по отношению его длины к длине тела. Собранный материал хранится в коллекции автора.

Кроме того, для сравнения была проанализирована небольшая ($n = 5$) серия черепов лесной мыши *S. sylvaticus* (Linnaeus, 1758), полученная зоологом Болотиной (Зениной) И. М. в результате отлова мелких млекопитающих на территории нынешнего Национального парка «Припятский».

Результаты и их обсуждение

Все отловленные в пригороде г. Гомеля лесные мыши по экстерьерным признакам оказались достаточно однообразными, без резких вариаций окраски тела и его пропорций.

Серо-коричневая спина контрастирует с грязно-белой или светло-серой окраской брюха. На груди, между передними конечностями, охристо-желтого пятна не было ни у одной особи. Длина хвоста у большинства их них – немногим менее длины тела (таблица 1). Оказались только несколько «худоватыми» две особи (экземпляры № 1 и № 2), первая из которых являлась и самой короткоухой – 13 мм.

Таблица 1 – Размеры тела и краниологические характеристики *S. sylvaticus sensu lato*

Характеристика	Номер экземпляра						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Масса тела, г	12,67	15,3	18,3	20,72	21,61	25,01	18,45
Длина тела	76	83	82	87	86	88	85
Длина хвоста	61	75	72	**	68	88	79
Индекс хвоста	0,8	0,9	0,88	—	0,79	1	0,93
Длина ступни	21	22	19	22	23	22	22
Высота уха	13	15	17	16	15	18	18
Ширина черепа	10,5	10,6	11,2	11,5	*	11,3	11,2
Высота черепа	8,3	8,6	9,0	9,1	9,2	9,0	9,4
Длина верхнего зубного ряда М ₁₋₃	3,7	3,7	3,7	4,0	4,1	3,9	3,9
Длина нижнего зубного ряда	3,6	3,7	3,8	3,8	4,1	3,7	4,0
Форма венечного шва (угол в °)	120°	120°	90°	90°	90°	90°	90°
Форма задне-небной вырезки	*	прямая	округлая	*	округлая	округлая	округлая

Примечание: * череп поврежден, ** хвост частично откусан

Однако анализ краниологических признаков выявил несколько отличительных особенностей (выделено в таблице 1) этих двух особей от остальной части выборки:

– значительно меньшая ширина черепа (10,5 и 10,6 мм) и высота черепа в области слуховых барабанов (8,3 и 8,6 мм);

– форма лобно-теменного (венечного) шва – развернутая (рисунок 2). Соединяющиеся швы располагались по отношению друг к другу приблизительно под углом около 120°, а у других особей – около 90°;

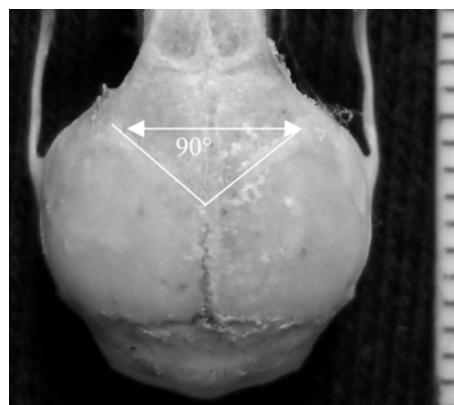
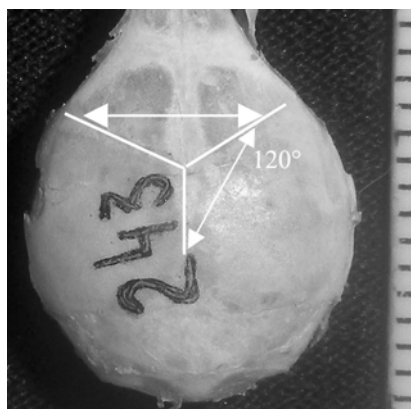


Рисунок 2 – Расположение швов свода черепа *S. uralensis* (слева) и *S. sylvaticus* (справа) юго-востока Беларуси

– форма заднечелюстной вырезки – прямая, без выпуклостей (экз. № 2), в то время как у остальных – округлая (рисунок 3);



Рисунок 3 – Округлая форма задне-небной вырезки *S. sylvaticus*

– морфология нижней челюсти: условные линии, проходящие по верхнему краю сочленовного отростка и нижнему краю углового отростка, сходятся приблизительно с внутренней стороны резцов (рисунок 4, 4), а у других особей с внешней стороны (рисунок 4, 3).

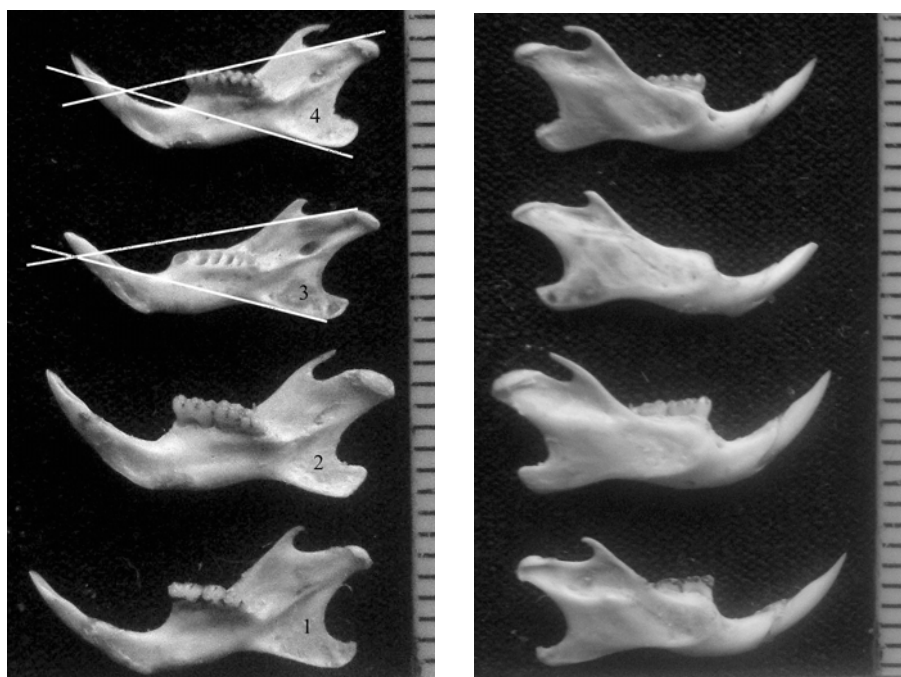


Рисунок 4 – Морфология нижней челюсти *Apodemus agrarius* (1), *S. tauricus* (2), *S. sylvaticus* (3), *S. uralensis* (4)

Следует заметить, что размеры нижней челюсти двух близких видов лесных мышей (*S. uralensis* и *S. sylvaticus*) заметно меньше по сравнению с таковыми у полевой (*Apodemus agrarius*) и желтогорлой (*S. tauricus*) мышей (соответственно рисунок 4, 1 и 4, 2).

Длина верхнего и нижнего зубных рядов у одной особи (экз. № 3) имеет промежуточное значение по сравнению с двумя первыми особями и остальными. Очевидно, что выявленное обстоятельство затрудняет использование длины верхнего зубного ряда M_{1-3} в диагностике малой лесной мыши в условиях юго-востока Беларуси.

Сравнение *всего комплекса* выявленных краниологических особенностей, а также некоторых морфометрических характеристик (в частности, массы тела и высоты уха) двух особей (экз. № 1 и № 2) с известными литературными данными по видовой дифференциации и изменчивости лесных мышей р. *Sylvaemus* Ognev, 1923 [16-22], позволяет утверждать, что

они относятся к одному виду – *Sylvaemus uralensis* (Pallas, 1811).

Представляет особый интерес следующий факт: анализ краниологических признаков лесной мыши *S. sylvaticus* (Linnaeus, 1758), обитающей в НП «Припятский» (материал Болотиной И. Н), выявил в нескольких случаях развернутую форму лобно-теменного шва (около 120°), чаще встречающуюся у *S. uralensis*. Выявленное обстоятельство, по-видимому, не только указывает на фенетическую (и генетическую) индивидуальность лесных мышей юга Беларуси, но и подтверждает высказанную [10] точку зрения, что форма лобно-теменного шва может варьировать и поэтому как *отдельный фенетический признак* не может являться видовым признаком *S. uralensis*.

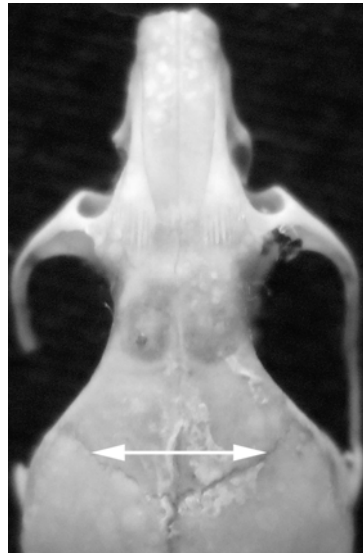


Рисунок 5 – Один из вариантов расположения швов свода черепа *S. sylvaticus* НП «Припятский»

Заключение

Проведенное исследование показывает, что в условиях юго-востока Беларуси два вида лесных мышей *S. uralensis* и *S. sylvaticus* могут не только обитать симпатрично, но и населять одни и те же местообитания, в частности, островные леса. Следует заметить, экологические условия места обитания зверька вполне соответствуют требуемым для вида. Известно [15], что малую лесную мышь привлекают лесополосы, забурьяненные участки, а также посадка деревьев вдоль железных дорог. Определенную роль в выборе местообитания *S. uralensis* играет и ее уклонение от конкуренции с желтогорлой мышью, доминирующей по численности и распространению в лесных фаунистических комплексах Полесья.

С целью уточнения мест обитаний малой лесной мыши необходимо провести ревизию имеющихся коллекционных фондов черепов *S. sylvaticus sensu lato*. Для дифференциации *S. uralensis* (анализу подлежат черепа только взрослых особей) следует обратить внимание на следующий комплекс диагностических признаков: ширина черепа – около 10,5-10,6 мм; высота черепа в области слуховых барабанов – около 8,3-8,6 мм; длина верхнего зубного ряда M_{1-3} – не более 3,7 мм; заднечелюстная вырезка – прямая, без выпуклостей; лобно-теменной шов – угловой формы. Индекс хвоста не имеет диагностического значения, как показано и другими исследователями [10]. Необходимо подчеркнуть, что для установления видовой принадлежности нельзя отдавать предпочтение какому-то одному из признаков, диагностическую ценность имеет только система морфологических и краниологических черт.

Для выявления морфологической изменчивости двух видов лесных мышей (*S. sylvaticus* и *S. uralensis*), их четкой дифференциации необходимо провести соответствующие цитогенетические исследования, что требует сотрудничества со специалистами России и Украины (к большому сожалению, подобные работы в Беларуси в настоящее время не проводятся

и не планируются).

Автор благодарит зоолога Болотину И. М. (г. Туров) за любезно предоставленную для анализа коллекцию черепов *S. sylvaticus*.

Литература

1. Козло, П. Г. Фаунистический анализ млекопитающих (Mammalia) и актуальные проблемы их изучения в Беларуси / П. Г. Козло // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2005. – № 1. – С. 92–98.
2. Савицкий, Б. П. Млекопитающие Беларуси / Б. П. Савицкий, С. В. Кучмель, Л. Д. Бурко. – Минск: Изд. центр БГУ, 2005. – С. 32–35.
3. Саварин, А. А. О поимке белозубки белобрюхой (*Crocidura leucodon*) в юго-восточной части Беларуси / А. А. Саварин // Весн. Белорусского гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2008. – № 2. – С. 112.
4. Саварин, А. А. Краниометрическая характеристика желтогорлой мыши, *Apodemus flavicollis* (Muridae, Rodentia), Припятского заповедника / А. А. Саварин, И. М. Зенина // Весн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2009. – № 2. – С. 94–96.
5. Саварин, А. А. Морфометрические и краниологические особенности белозубки малой (*Crocidura suaveolens*) юго-востока Беларуси / А. А. Саварин // Вестник БГПУ им. М. Танка. Сер. 3. – 2009. – № 2. – С. 50–54.
6. Саварин, А. А. О поимках бурозубки средней (*Sorex caecutiens* Laxmann, 1788) на юго-востоке Беларуси / А. А. Саварин // Весн. Белорусского гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2010. – № 1. – С. 99–100.
7. Гаевский, Е. Е. К экологической характеристике желтогорлой (*Sylvaemus flavicollis*) и малой лесной мыши (*S. uralensis*) в Беларуси / Е. Е. Гаевский, П. А. Велигуров, В. В. Гричик // Динамика биологического разнообразия фауны, проблемы и перспективы устойчивого использования и охраны животного мира Беларуси: тез. докл. IX зоол. научн. конф., Минск 2004 г. / – Минск, 2004. – С. 139–140.
8. Сидорович, В. Е. Изменчивость структуры ассоциаций мелких млекопитающих на низинных болотах северо-востока Беларуси / В. Е. Сидорович, А. Г. Полозов, Ю. А. Трусилова и др. // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2005. – № 3. – С. 94–102.
9. Бурко, Л. Д. Структура фауны микромамманий Воложинского района / Л. Д. Бурко, Н. Е. Бурко, Я. М. Степанова и др. // Весн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2007. – № 3. – С. 56–60.
10. Колчева, Н. Е. К вопросу об идентификации лесных мышей Южного Урала / Н. Е. Колчева // Систематика и филогения грызунов и зайцеобразных: сб. науч. тр. / Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова. – Москва, 2000. – С. 77–79.
11. Лашкова, Е. И. Одонтометрическая изменчивость и идентификация видов лесных мышей, *Sylvaemus* (Muridae, Rodentia), фауны Украины / Е. И. Лашкова, И. И. Дзеверин // Вестник зоологии. – 2002. – № 3. – С. 25–33.
12. Богданов, А. С. Анализ генетической изменчивости и дифференциации малой лесной мыши *Sylvaemus uralensis* (Rodentia, Muridae) методом RAPD-PCR / А. С. Богданов, Д. М. Атопкин, Г. Н. Челомина // Известия РАН. Серия биологическая. – 2009. – № 3. – С. 276–292.
13. Баскевич, М. И. Диагностика мышей рода *Apodemus* (Rodentia, Muridae) из западной части Большого Кавказа в условиях симбиотопии / М. И. Баскевич, Потапов С.Г., Окулова Н. М., Балакирев А.Е. // Зоологический журнал. – 2004. – Т. 83. Вып. 10. – С. 1261–1269.
14. Балакирев, А.Е. К вопросу о таксономическом статусе формы *ciscaucasicus* и ее родственных отношениях с малой лесной мышью *Sylvaemus uralensis* по данным секвенирования гена цитохрома *b* мтДНК / А.Е. Балакирев, М. И. Баскевич, А.П. Гмыль // Генетика. – 2007. – Т. 43. № 12. – С. 1651–1666.
15. *Apodemus* (*Sylvaemus*) *uralensis* Pallas, 1811 // Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://>

www.sevin.ru/laboratories/petrosyan_grp.html. – Дата доступа: 10.01.2010.

16. Шешурак, П. Польові практики із зоології хребетних у вивченні ссавців Чернігівщини / П. Шешурак, Б. Кедров // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. – 2002. – Вип. 30. – С. 42–48.

17. Межжерин, С. В. О видовой самостоятельности *Apodemus* (*Sylvaemus*) *ponticus* (Rodentia, Muridae) / С. В. Межжерин // Вестник зоологии. – 1991. – № 6. – С. 34–40.

18. Воронцов, Н. Н. Систематика лесных мышей подрода *Sylvaemus* Кавказа (Mammalia, Rodentia, *Apodemus*) / Н. Н. Воронцов, Г. Г. Боескорев, С. В. Межжерин и др. // Зоологический журнал. – 1992. – Т. 71. Вып. 3. – С. 119–131.

19. Киселюк, А. И. *Sylvaemus uralensis* (Rodentiformes, Muridae) в Восточных Карпатах / А. И. Киселюк // Вестник зоологии. – 1993. – № 4. – С. 41–47.

20. Загороднюк, И. В. Идентификация восточноевропейских форм *Sylvaemus sylvaticus* (Rodentia) и их географическое распространение / И. В. Загороднюк // Вестник зоологии. – 1993. – № 6. – С. 37–47.

21. Загороднюк, І. Рівні морфологічної диференціації близьких видів звірів та поняття гіатусу / І. Загороднюк // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. – 2004. – Вип. 38. – С. 21–42.

22. Окулова, Н. М. Изменчивость размеров малых лесных мышей *Apodemus* в разных частях ареала / Н. М. Окулова, Н. В. Антоненц // Систематика и филогения грызунов и зайцеобразных: сб. науч. тр. / Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова. – Москва, 2000. – С. 77–79.

УДК: 581.5:544.58 (476.2 – 37 + 470.333 – 37)

Анализ накопления радионуклидов растениями природных экосистем Чечерского района Гомельской области и Новозыбковского, Гордеевского районов Брянской области

Л. М. САПЕГИН, Н. М. ДАЙНЕКО, С. Ф. ТИМОФЕЕВ,
А. Д. БУЛОХОВ, Е. В. БОРЗДЫКО, Н. А. СКОВОРОДНИКОВА

Исследования показали, что 21 образец (48,8 %) из 43 видов растений Чечерского района Гомельской области Беларуси превышал 370 кБ. На территории Новозыбковского и Гордеевского районов Брянской области России 10 образцов растений (58,8 %) из 17 отобранных видов растений не соответствовали нормативу. Использование лекарственных и других хозяйственно полезных видов растений, произрастающих на загрязненных радионуклидами территориях, возможно при обязательном радиологическом контроле.

Ключевые слова: радионуклиды, лекарственные растения.

The research has shown that 21 samples (48,8 %) out of 43 kinds of medicinal plants in Chechersk district Gomel region in Belarus exceed the standard equaling 370 Bk/kg on ^{137}Cs . On the territory of Gordeev and Novozybkov districts Bryansk region in Russia 10 samples (58,8 %) out of 17 exceed the standard on radiocesium. The use of medicinal and other economically valuable plant kinds growing on the territories polluted with radionuclides is possible under a compulsory radiologic control.

Keywords: radionuclides, medicinal plants.

Глобальная техногенная и экологическая катастрофа XX столетия – авария на Чернобыльской АЭС – привела к радиоактивному загрязнению почти 30 % территории Республики Беларусь. Основные площади радиоактивного загрязнения земель приходятся на Гомельскую область, в том числе и на Брагинский, Буда-Кошелевский, Ветковский, Добрушский, Ельский, Кормянский, Лельчицкий, Лоевский, Наровлянский, Рогачевский, Хойникский и Чечерский районы.

В имеющейся литературе как для бывшего Советского Союза [1 – 3 и др.], так и для Беларуси [4 – 6 и др.] приводится информация о лекарственных растениях, их систематической принадлежности, описанию внешнего вида, местах произрастания, химическом составе, применении для лечения как народной, так и официальной медициной.

Интерес к лекарственным растениям не случаен. При лечении ряда тяжелых заболеваний, таких как сердечно-сосудистые, печени и желудочно-кишечного тракта, органов дыхания и др., используются главным образом лекарства растительного происхождения. Около 40 % препаратов для лечения заболеваний человека изготавливается из растений. Свыше 200 видов растений используется современной научной медициной, но в домашней и народной медицине их используется значительно больше.

В Брянской области радиоактивному загрязнению подверглась третья часть территории, на которой располагались 22 административных района и два города областного подчинения с общей численностью населения 484,5 тыс. человек. Плотностью свыше 37 кБк/м² (1 Ки/м²) было загрязнено 760 тыс. га сельскохозяйственных угодий, что составляло 40 % от их общей площади. Уровень загрязнения радионуклидами по сравнению с доаварийным возрос в 10 – 430 раз. Особенно пострадали семь экономически развитых и густонаселенных юго-западных районов: Гордеевский, Злынковский, Климовский, Клинцовский, Красногорский, Новозыбковский и Стародубский. Средняя плотность загрязнения радиоцезием составляла 466,2 – 658,6 кБк/м² (12,6–17,8 Ки/м²), на сельскохозяйственных угодьях площадью 114,6 тыс. га этот показатель оказался выше 555 кБк/м² (15 Ки/м²).

Сведений о содержании радионуклидов в лекарственных растениях в литературе практически нет.

Цель исследования

Установить уровень радиоактивного загрязнения лекарственных видов растений и определить возможность их безопасного использования населением, проживающим на территории Чечерского района Гомельской области Беларуси, граничащего с Гордеевским и Новозыбковским районами Брянской областью Российской Федерации.

Задачи исследований

- оценить видовое разнообразие лекарственных растений обследованных территорий;
- установить уровни радиоактивного загрязнения изученных лекарственных растений обследованных районов;
- информировать население, проживающее на территориях, загрязненных радионуклидами, о возможности использования лекарственных растений.

Материалы и методика

Объектами исследований были лекарственные растения и их части в составе растительных сообществ вблизи населенных пунктов.

Изучение видового состава лекарственных растений выполняли с использованием флористических и геоботанических методов [7 – 10]. Тип леса устанавливали по лесотипологическим таблицам [11], а травяные природные экосистемы – по эколого-флористической классификации [12, 13].

Отбор образцов лекарственных растений и проб почвы выполняли по существующим методикам [14 – 18].

Определение содержания ^{137}Cs в почвенных и растительных пробах производят на гамма-спектрометрах Tenelec-Oxford и Canberra-Packard, ^{90}Sr – радиохимическим методом с радиометрическим окончанием на CANBERRA-2400.

Удельная активность – это содержание радионуклида в единице массы, Бк/кг; коэффициент накопления – КН, характеризующий отношение содержания радионуклида в единице массы растения к содержанию радионуклида в единице массы почвы, Бк/кг:Бк/кг.

Оценка степени радиоактивного загрязнения лекарственных растений и возможности их безопасного использования дана путем сопоставления полученных результатов с нормативными показателями Радиологического допустимого уровня лекарственно-технического сырья, принятого в Республике Беларусь в 2004 году (РДУ/ЛТС-2004) [19].

Результаты

Весной, 25.05.2010 г. на четырех объектах природных экосистем Чечерского района были отобраны для радиологического анализа образцы растений и пробы почв.

Объект № 1 – юго-восточная окраина д. Покоть. Глубокая низина, травостой мозаичный, закустарен. Координаты: N 52°; 52'; 24.8", E 31°; 06'; 88".

Почва дерново-подзолистая супесчаная, оглеенная, влажная. Ее агрохимическая характеристика следующая: pH_{KCl} – 6,0; содержание обменного кальция – 1451,0 мг/кг; обменного магния – 228,6 мг/кг; подвижных форм калия и фосфора соответственно 370,6 и 422,0 мг/кг; органического вещества – 8,2 %.

Содержание ^{137}Cs в почве в горизонте 0 – 10 см – 1060 Бк/кг (46,4 %); 10 – 20 см – 854 Бк/кг (37,4 %); 20 – 30 см – 369 Бк/кг (16,2 %). Содержание ^{90}Sr в почве в горизонте 0 – 10 см – 25 Бк/кг (30,3 %); 10 – 20 см – 47 Бк/кг (58,3 %); 20 – 30 см – 9 Бк/кг (11,4 %). Можно отметить два обстоятельства. Во-первых, большая часть ^{137}Cs продолжает находиться в верхних горизонтах почвы, и, во-вторых, ^{90}Sr значительно быстрее мигрирует в почве, чем ^{137}Cs .

Для радиологического анализа отобрано 20 образцов растений и шесть проб почвы.

Объект № 2 – сосняк ракитниково-мшистый в 2-х км восточнее деревни Покоть, справа от шоссе. Координаты: N 52°; 51'; 77.4", E 31°; 07'; 61.5". Почва дерново-подзолистая супесчаная, свежая. Ее агрохимическая характеристика следующая: pH_{KCl} – 3,9; содержание обменных форм кальция и магния соответственно 76,0 и – 34,0 мг/кг; калия и фосфора – 51,6 и 104,0 мг/кг; органического вещества – 3,2 %.

Содержание ^{137}Cs в почве в горизонте 0 – 10 см – 1390 Бк/кг (90,4 %); 10 – 20 см – 91 Бк/кг (6,0 %); 20 – 30 см – 56 Бк/кг (3,6 %). Содержание ^{90}Sr в почве в горизонте 0 – 10 см – 13 Бк/кг (47,6 %); 10 – 20 см – 8 Бк/кг (27,5 %); 20 – 30 см – 7 Бк/кг (24,9 %). Из приведенной информации следует, что большая часть ^{137}Cs остается в самом верхнем горизонте почвы в отличие от ^{90}Sr .

Из этой лесной экосистемы для анализа взято 10 образцов растений и 6 проб почвы.

Объект № 3 – левобережная пойма р. Покуть против д. Рудня Насимковичская. Координаты: N 52°; 55'; 9.3", E 31°; 10'; 45.5".

Луговая экосистема принадлежит к *Poo palustris* – *Alopecuretum pratensis* Shelyag, Sipaylova, Mirk. et V. Solomakha in Shelyag et al. 1985 союза *Alopecurion pratensis* Pass. 1964, порядка *Molinietalia* W. Koch 1926, класса *Molinio – Arrhenatheretea* R. Tx. 1937 em. R. Tx. 1970.

Почва аллювиально-дерновая суглинистая, влажная. Ее агрохимическая характеристика следующая: pH_{KCl} – 5,0; содержание обменных форм кальция и магния соответственно 148,0 и 43,8 мг/кг; подвижных калия и фосфора 82,8 и 134 мг/кг; органического вещества – 3,8 %.

Содержание ^{137}Cs в почве в горизонте 0 – 10 см – 847 Бк/кг (57,0 %); 10 – 20 см – 580 Бк/кг (39,0 %); 20 – 30 см – 60 Бк/кг (4,0 %). Содержание ^{90}Sr в почве в горизонте 0 – 10 см – 8 Бк/кг (26,5 %); 10 – 20 см – 12 Бк/кг (40,2 %); 20 – 30 см – 10 Бк/кг (33,3 %). В почве данного объекта происходит наиболее значительная миграция ^{90}Sr .

Здесь для радиологического анализа отобрано 11 образцов растений и 6 проб почвы.

Объект № 4 – сосняк ракитниково-мшистый в 1 км северо-западнее д. Насимковичи, слева от шоссе. Координаты: N 52° 57' 260"; E 031° 09' 391".

Почва дерново-подзолистая супесчаная, свежая. Ее агрохимическая характеристика следующая: pH_{KCl} – 4,0; содержание обменных форм кальция и магния соответственно 122 и 45,0 мг/кг; подвижных калия и фосфора 81,9 и 124 мг/кг; органического вещества – 6,0 %.

Содержание ^{137}Cs в почве в горизонте 0 – 10 см – 1270 Бк/кг (94,9 %); 10 – 20 см – 47 Бк/кг (3,5 %); 20 – 30 см – 21 Бк/кг (1,6 %). Содержание ^{90}Sr в почве в горизонте 0 – 10 см – 29 Бк/кг (66,0 %); 10 – 20 см – 12 Бк/кг (27,3 %); 20 – 30 см – 3 Бк/кг (6,7 %). Миграция радионуклидов по профилю почвы данного объекта характеризуется наименьшей скоростью по сравнению с другими объектами.

Из этой лесной экосистемы для радиологического анализа отобрано 10 образцов растений и 6 проб почвы.

Всего с 4 объектов Чечерского района для радиологического анализа отобрано 43 образца растений и 24 пробы почвы.

Растения представлены 33 видами из 31 рода и 26 семейств. Наиболее многочисленными были сем. *Rosaceae* – 6 видов (18,2 %), *Polygonaceae* и *Fabaceae* – по 2 вида (по 6,0 %) каждое. Остальные 23 семейства включали по 1 виду (по 3,0 %) каждое. Деревьев было 6 видов (18,2 %), кустарников 5 (15,1 %) и полукустарников – 1 вид (3,0 %), трав – 21 вид (63,6 %).

Результаты радиологического анализа растений на содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr весенних сборов 2010 г. показаны в таблице 1.

Из таблицы видно, что на объекте № 1 из 20 образцов растений только у двух растений – купырь лесной, трава и смородина черная, ветви с листьями содержание ^{137}Cs превышало нормативы РДУ/ЛТС-2004 по ^{137}Cs 370 Бк/кг. Остальные 18 видов (90,0 %) характеризовались содержанием радионуклида от 197 Бк/кг до 18 Бк/кг.

Накопление ^{90}Sr в растениях этого объекта изменялось от 153 – щавель густой, трава до 14 Бк/кг – яблоня домашняя, ветви с листьями.

Совершенно противоположная ситуация по загрязнению растений ^{137}Cs в сосняке ракитниково-мшистом (объект № 2).

Таблица 1 – Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях Чечерского района

Дата отбора	Места произрастания, вид растения	Содержание ^{137}Cs в растениях, Бк/кг	КН по ^{137}Cs Бк/кг : Бк/кг	Содержание ^{90}Sr в растениях, Бк/кг	КН по ^{90}Sr Бк/кг : Бк/кг
1	2	3	4	5	6
25.05. 2010	Объект №1				
	Купырь лесной (<i>Anthriscus sylvestris</i>) – трава	2592	2,45	115	6,67
	Смородина черная (<i>Ribes nigrum</i>) – ветви с листьями	468	0,44	17	0,68
	Хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i>) – трава	197	0,19	88	3,57
	Крапива двудомная (<i>Urtica dioica</i>) – трава	123	0,12	26	1,07
	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i>) – трава	90	0,09	52	2,09
	Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i>) – трава	88	0,08	120	4,86
	Аир обыкновенный (<i>Acorus calamus</i>) – трава	84	0,08	110	4,50
	Подорожник средний (<i>Plantago media</i>) – трава	75	0,07	49	2,00
	Хмель обыкновенный (<i>Humulus lupulus</i>) – побеги с листьями	70	0,07	94	3,81
	Чистотел большой (<i>Chelidonium majus</i>) – трава	69	0,06	45	1,85
	Камыш лесной (<i>Scirpus sylvaticus</i>) – трава	55	0,05	50	2,10
	Вербейник обыкновенный (<i>Lysimachia vulgaris</i>) – трава	50	0,05	30	1,21
	Окопник лекарственный (<i>Symphytum officinale</i>) – трава с соцветиями	48	0,05	51	2,06
	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>) – ветви с листьями	39	0,04	16	0,66
	Ольха черная (<i>Alnus glutinosa</i>) – ветви с листьями	38	0,04	20	0,82
	Лопух большой (<i>Arctium lappa</i>) – трава	30	0,03	54	2,21
	Яблоня домашняя (<i>Malus domestica</i>) – ветви с листьями	29	0,03	14	0,53
	Щавель густой (<i>Rumex crispus</i>) – трава	21	0,02	153	6,21
	Липа (<i>Tilia cordata</i>) – ветви с листьями, дер.	19	0,02	30	-
	Малина лесная (<i>Rubus idaeus</i>) – побеги с листьями	18	0,02	22	0,89

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
25.05. 2010	Объект № 2				
	Плаун булавовидный (<i>Lycopodium clavatum</i>) – побеги с листьями	7727	5,56	65	4,97
	Орляк обыкновенный (<i>Pteridium aquilinum</i>) – трава	3991	2,87	179	13,78
	Зимолюбка зонтичная (<i>Chimaphilla umbellata</i>) – трава.	1859	1,34	257	19,74
	Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>) – ветви с листьями, дер.	1255	0,90	262	20,17
	Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>) – ветви с листьями	1080	0,78	78	5,98
	Малина лесная (<i>Rubus idaeus</i>) – побеги с листьями	898	0,64	270	20,78
	Крушина ломкая (<i>Frangula alnus</i>) – ветви с листьями	625	0,45	164	12,64
	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>) – ветви с листьями	500	0,36	266	20,47
	Марьяник лесной (<i>Melampyrum sylvaticum</i>) – трава	473	0,34	177	13,61
	Ракитник русский (<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>) – ветви с листьями	227	0,16	125	9,65
25.05. 2010	Объект № 3				
	Горицвет кукушкин (<i>Coronaria flos-cuculi</i>) – трава	1805	2,13	29	3,68
	Лисохвост луговой (<i>Alopecurus pratensis</i>) – трава с соцвет.	1438	1,70	14	1,88
	Щавель пирамидальный (<i>Rumex thyrsiflorus</i>) – трава	999	1,79	69	8,96
	Хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i>) – трава	388	0,46	37	4,84
	Калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i>) – ветви с цветками	362	0,43	32	4,19
	Камыш лесной (<i>Scirpus sylvaticus</i>) – трава	343	0,41	36	4,70
	Вербейник обыкновенный (<i>Lysimachia vulgaris</i>) – трава	340	0,40	35	4,51
	Хмель обыкновенный (<i>Humululus lupulus</i>) – побеги с листьями	317	0,37	30	-
	Таволга вязолистная (<i>Filipendula ulmaria</i>) – трава	309	0,36	42	5,94
	Крапива двудомная (<i>Urtica dioica</i>) – трава	106	0,13	171	22,17
	Липа (<i>Tilia cordata</i>) – ветви с листьями	93	0,11	18	2,40

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
25.05. 2010	Объект № 4				
	Ракитник русский (<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>) – ветви с листьями, куст.	16995	13,38	45	1,55
	Чистотел большой (<i>Chelidonium majus</i>) – трава	3436	2,71	343	11,82
	Орляк обыкновенный (<i>Pteridium aquilinum</i>) – трава	1492	1,18	296	10,12
	Майник двулистный (<i>Majanthemum bifolium</i>) – трава	1357	1,07	93	3,17
	Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>) – ветви с листьями	622	0,49	185	6,31
	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>) – ветви с листьями	590	0,47	147	5,03
	Крушина ломкая (<i>Frangula alnus</i>) – ветви с листьями	327	0,26	133	4,53
	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) – ветви с хвоей	135	0,11	29	1,00
	Костяника (<i>Rubus saxatilis</i>) – трава	59	0,04	225	7,69
	Яблоня лесная (<i>Malus sylvestris</i>) – ветви с листьями	30	0,02	204	6,98

Из 10 видов растений 9 (90,0 %) отличались высокой степенью радиоактивного загрязнения ^{137}Cs . Его содержание в растениях было от 7727 Бк/кг (плаун булавовидный – побеги с листьями) до 473 Бк/кг (марьяник лесной – трава).

Наиболее высокая аккумуляция ^{90}Sr на объекте № 2 отмечено у малины лесной, побеги с листьями – 270 Бк/кг.

На объекте № 3 из 11 образцов растений четыре (36,4 %) не отвечали нормативу РДУ/ЛТС по ^{137}Cs 370 Бк/кг.

Содержание ^{90}Sr у растений этого объекта изменялось от 171 до 14 Бк/кг.

Из 10 образцов растений лесной экосистемы (объект № 4) 6 (60,0 %) не отвечали нормативу РДУ/ЛТС по ^{137}Cs 370 Бк/кг. Содержание радионуклида у них составило от 16995 (ракитник русский, ветви с листьями) до 590 Бк/кг (береза повислая, ветви с листьями).

Содержание ^{90}Sr у растений этого объекта изменялось от 343 (чистотел большой, трава) до 29 Бк/кг (сосна обыкновенная, ветви с хвоей).

Исследования показали, что большая часть радионуклидов продолжает оставаться в верхних горизонтах почвы, что представляет определенную опасность. Кроме того, миграция ^{90}Sr в почве происходит значительно быстрее, чем ^{137}Cs . Все это свидетельствует о том, что использование лекарственных и других хозяйственно полезных растений на изученных объектах возможно только при обязательном радиологическом контроле.

На территориях Новозыбковского и Гордеевского районов Брянской области России в летний период 2009 года выполнены полевые и лабораторные исследования по изучению радиоактивного загрязнения некоторых видов лекарственных растений и их органов на содержание ^{137}Cs . Результаты исследований приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что в Новозыбковском районе наиболее загрязненными ^{137}Cs были растения объекта № 3. Содержание ^{137}Cs в побегах вереска обыкновенного превышало допустимый уровень 370 Бк/кг почти в 47 раз, плауна булавовидного – 36 и в корневище лапчатки прямостоячей – в 5,2 раза.

Таблица 2 – Содержание ^{137}Cs и коэффициенты накопления лекарственными растениями Новозыбковского района.

Место произрастания, вид растения	Содержание ^{137}Cs в растении, Бк/кг	КН по ^{137}Cs , Бк/кг:Бк/кг
Объект 1. Кленовник с грабом волосистоосоковый, асс. <i>Mercurialo-Quercetum carpinetosum betuli Acer platanoides</i> fac. г. Новозыбков. (52°28'29.8" с.ш.; 31°55'28.5" в.д.). Содержание ^{137}Cs в почве 3916±417 Бк/кг		
Осока волосистая – <i>Carex pilosa</i>	1303±222	0,33
Купена многоцветковая – <i>Polygonatum multiflorum</i> , корневище	598±59,8	0,15
Объект 2. Березняк с грабом, асс. <i>Mercurialo-Quercetum carpinetosum betuli Betula pendula</i> fac. г. Новозыбков. Содержание ^{137}Cs в почве 4405±473 Бк/кг		
Яблоня лесная – <i>Malus sylvestris</i> , плоды	56,1±11,3	0,01
Объект 3. Верещатник, б. с. <i>Calluna vulgaris [Vaccinio-Piceetea]</i> . Окр. ж/д у границы Новозыбковского и Климовского районов. Содержание ^{137}Cs в почве 5172±543 Бк/кг		
Вереск – <i>Calluna vulgaris</i> , побег	17370±1977	3,36
Плаун булавовидный – <i>Lycopodium clavatum</i>	13370±1589	2,59
Лапчатка прямостоячая – <i>Potentilla erecta</i> , корневище	1942±263	0,38

Менее загрязнены радионуклидом растения объекта № 1. Так, осока волосистая содержит ^{137}Cs в 3,5 раза выше допустимой нормы РДУ/ЛТС-2004, а корневище купены многоцветковой – 1,6 раза.

На объекте № 2 в березняке с грабом плоды яблони лесной мало аккумулировали ^{137}Cs . Это является основанием для безопасного использования их человеком.

Результаты изучения аккумуляции ^{137}Cs видами растений Гордеевского района приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание ^{137}Cs и коэффициенты накопления лекарственными растениями Гордеевского района.

Место произрастания, вид растения	Содержание ^{137}Cs в растениях, Бк/кг	КН по ^{137}Cs , Бк/кг:Бк/кг
1	2	3
Объект 1. Осинник молиниевый, асс. <i>Galio palustris-Quercetum roboris Populus tremula</i> fac. У пос. Мирный. (52°50'13.0" с.ш.; 31°46'59.5" в.д.). Содержание ^{137}Cs в почве 896±802 Бк/кг		
Крушина ломкая – <i>Frangula alnus</i> , плоды	96,3±3,05	0,05
Крушина ломкая – <i>Frangula alnus</i> , лист	435±144	0,24
Объект 2. Березняк разнотравный, б. с. <i>Agrostis tenuis-Betula pendula</i> . Пос. Гордеевка (52°58'6.0" с.ш.; 31°55'0.8" в.д.). Содержание ^{137}Cs в почве 4620 ±492 Бк/кг		
Крушина ломкая – <i>Frangula alnus</i> , плоды	9,8±1,09	0,002
Крушина ломкая – <i>Frangula alnus</i> , лист	73±6	0,02
Яблоня лесная – <i>Malus sylvestris</i> , плоды	4,7±0,7	0,001
Лапчатка прямостоячая – <i>Potentilla erecta</i> , корневище	552,4±96,7	0,12
Вереск – <i>Calluna vulgaris</i> , побег	3114±419	0,96
Плаун годичный – <i>Lycopodium annuum</i>	3780±549	0,74
Объект 3. Ольшанник крапивник, асс. <i>Urtico dioicae-Alnetum glutinosae</i> У д. Смяльч. Содержание ^{137}Cs в почве 2798±300 Бк/кг		
Хмель обыкновенный – <i>Humulus lupulus</i> , лист	1136±233	0,41
Крапива двудомная – <i>Urtica dioica</i>	1407±212	0,50
Крапива двудомная – <i>Urtica dioica</i>	51±5	0,03

Из таблицы видно, что растения объекта № 2 – березняка разнотравного отличались значительным разнообразием по аккумуляции ^{137}Cs . Наибольшее содержание радионуклида отмечено у плауна годичного, побеги – 3780 Бк/кг, что в 10,2 раза выше допустимой нормы 370 Бк/кг. Также значительным содержанием радионуклида отличался вереск обыкновенный, побеги – 3114 Бк/кг, в 8,4 раза выше ПДК.

Несколько меньшее содержание радионуклида в корневищах лапчатки прямостоячей – 552,4 Бк/кг, что в 1,5 раза выше норматива 370 Бк/кг.

Остальные виды растений, их плоды и листья аккумулировали незначительное количество радиоцезия и пригодны для использования человеком.

Растения объекта № 3, ольшанника крапивного крапива двудомная, трава аккумулировала 1407 Бк/кг ^{137}Cs , что в 3,8 раза превышало допустимый уровень. Листья хмеля обыкновенного содержали 1136 Бк/кг радионуклида, это в 3,1 выше ПДК по радиоцезию. А один образец крапивы двудомной этого же объекта отличался незначительной аккумуляцией ^{137}Cs .

Растения осинника молиниевое (объект № 1) – крушина ломкая имела высокое содержание радиоцезия – в листьях – 435 Бк/кг и небольшое – 96,3 Бк/кг в плодах.

Исследования по накоплению радиоактивного цезия растениями природных экосистем как Чечерского района Гомельской области Беларуси, так и приграничных районов Новозыбковского и Гордеевского Брянской области России показали, что значительное число видов растений и их органов имели высокий уровень загрязнения радионуклидом. На основе исследований выявлена видовая специфичность растений к аккумуляции радионуклидов. Удельная активность загрязнения растений ^{137}Cs пропорциональна плотности загрязнения почвы, зависит от ее механического, агрохимического состава, влажности, а также типа растительного покрова.

Использование лекарственных и других хозяйственно полезных видов растений, произрастающих на загрязненных радионуклидами территориях, возможно при обязательном радиологическом контроле.

Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ Б09БРУ-007 «Флора и растительность радиоактивно загрязненных приграничных территорий Брянской (Россия), Черниговской (Украина) и Гомельской (Республика Беларусь) областей в постчернобыльский период».

Литература

1. Землинский, С. Е. Лекарственные растения СССР / С. Е. Землинский. – М.: Медгиз, 1958. – 607 с.
2. Минаева, В. Г. Лекарственные растения Сибири / В. Г. Минаева ; отв. ред. докт. биол. наук, проф. К. А. Соболевская. – Новосибирск : Наука, Сибирское отд., 1970. – 271 с.
3. Туров, А. Д. Лекарственные растения СССР и их применение / А. Д. Туров, Э. Н. Сапожникова. – 3-е изд. – М. : Медицина, 1982. – 304 с.
4. Гаммерман, А. М. Лекарственные растения (Растения-целители) : справ. пособие / А. М. Гаммерман, Г. Н. Кадаев, А. А. Яценко-Хмелевский. – 3-е изд. – М. : Высш. шк., 1983. – 400 с.
5. Гесь, Д. К. Лекарственные растения и их применение / Д. К. Гесь [и др.] ; под ред. И. Д. Юркевича, И. Д. Мишенина. – Мн., 1974. – 598 с.
6. Дары наших лесов / В. И. Саутин [и др.]; под общ. ред. В. И. Саутина. – 2-е изд. – Мн. : Полымя, 1988. – 255 с.
7. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
8. Методика полевых геоботанических исследований. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1938. – 215 с.
9. Программа и методика биогеоценологических исследований. – М. : Наука, 1974. – 404 с.
10. Сапегин, Л. М. Геабатаніка / Л. М. Сапегин ; навук. рэд. В. І. Парфёнаў. – Мінск : Тэсей, 2000. – 192 с.
11. Юркевич, И. Д. Лесотипологические таблицы / И. Д. Юркевич. – Минск : Наука и техника, 1969. – 37 с.

12. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie / J. Braun-Blanquet. – Wien : Springer – Verlag, 1951. – 631 s.
13. Matuszkiewicz, W. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roslinnych Polski / W. Matuszkiewicz. – Warszawa : PWN, 1984. – 298 s.
14. Крупномасштабное агрономическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных угодий Беларуси : методические указания / науч. ред. академик НАН РБ И. М. Багдевич. – Мн. : Бел. изд. Хата, 2001. – 60 с.
15. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС). – Мн., 1995. – 582 с.
16. Руководство по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 1997 – 2000 гг. / под ред. акад. НАН Беларусь И. М. Богдевича. – Мн., 1997. – 76 с.
17. Якушев, Б. И. Методика отбора почвенных проб при проведении радиоэкологического мониторинга в природных фитоценозах / Б. И. Якушев [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т.48, № 1. – С. 69 – 71.
18. Метод отбора проб зеленого корма (травы) : ГОСТ РБ 27262 – 87. – Введен с 01.07.1988. – Минск : Госстандарт : Белорус. Гос. Ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 7 с. – Государственная система стандартизации Республики Беларусь.
19. Гигиенический норматив 2.6.1.8.-10-2004 «Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно-техническом сырье (РДУ/ЛТС – 2004)». Утвержден Постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь 24 декабря 2004, № 152.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 23.05.11

Брянский государственный
университет им. И. Г. Петровского

Формирование и сорбционные свойства препаратов бинарных ферроцианидов железа и меди на угольной матрице

В. А. ШУМИЛИН, В. А. СОБЧЕНКО

Предложен новый методический подход синтеза препаратов бинарных ферроцианидов на матрице древесного активированного угля.

Приводятся анализ ИК-Фурье спектров, результатов рентгеноструктурного анализа, а также экспериментальные результаты исследований по блокированию радионуклидов цезия в модельном водно-солевом растворе. Высказано предположение о различном фазовом состоянии бинарных препаратов в зависимости от намечаемого массового соотношения ферроцианидов меди и железа в процессе синтеза.

Ключевые слова: Ферроцианиды железа и меди, угольная матрица, коэффициент распределения ^{137}Cs , водно-солевой раствор, бинарная структура препаратов.

A new methodical approach on synthesis of binary ferrocyanides on charcoal matrix is offered. The results of X-ray crystal analysis, the experimental results of investigations on blocking of cesium radionuclides in the modeling water-saline solution are given in the article. It is expected that a different phase state of binary materials, depending on the mass ratio of copper and ferric ferrocyanides in the course of synthesis.

Keywords: ferric and copper ferrocyanides, carbon matrix, distribution factor of ^{137}Cs , water-saline solution, material binary structure.

Введение

Как показывает практика, в процессе эксплуатации атомных электростанций нет полной гарантии их безаварийной работы, равно как и гарантий в целостности объектов по захоронению радиоактивных отходов. Недавние события на АЭС Фукусима-1 подтвердили, сколь серьезным в обозначенной проблеме может являться и фактор природных катастроф.

В этой связи, определенную научно-практическую значимость имеет исследования, направленные на разработку новых методических и технологических подходов синтеза отечественных блокирующих препаратов для применения в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с загрязнением обширных территорий радионуклидами цезия.

В последнее время в исследованиях по созданию новых типов цезий избирательных сорбционных материалов, достаточно широко представлены технологические подходы по формированию матричных препаратов на основе ферроцианидов переходных металлов. В качестве матриц использовались природные алюмосиликаты [1, 2], гидроксид циркония [3], гидратированный диоксид титана [4], древесная целлюлоза [5, 6], металлосодержащие углеродные волокна [7], синтетические и искусственные полимерные материалы [8]. Несмотря на широкий ассортимент применяемых матриц, объединяющим в указанных работах является использование моно-форм активного начала в виде нормальных ферроцианидов железа, меди, никеля, кобальта или их смешанных солей с калием.

Возможность синтеза бинарных ферроцианидов, т.е. препаратов, содержащих два переходных металла, была показана еще в монографии [9]. Следует отметить, что фундаментальные исследования в этом направлении проводятся в Казанском государственном технологическом университете с целью создания новых типов молекулярных ферромагнетиков [10].

Материалы и методы

В качестве матрицы в наших исследованиях был использован древесный активированный уголь с фракцией 50-100 мкм, навески которого вводили в колбу на магнитной мешалке с титрованными 0, 01М растворами смеси ионов Fe^{3+} и Cu^{2+} , после чего в суспензию

быстро заливали эквимолекулярное количество раствора ферроцианида лития. После разделения фаз образцы сушили при естественной влажности; маточные растворы контролировали на отсутствие качественных реакций по соответствующим ионам. В результате были получены препараты бинарных средних ферроцианидов с массовой долей $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ в интервале $0 \div 100\%$ (соответственно, $100 \div 0\%$ по отношению к $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$). Кроме того, получали аналогичную группу препаратов, в которых после формирования бинарных ферроцианидов на поверхности угля в суспензию вводили раствор хлорида калия и, таким образом, проводили модифицирование.

Состав водно-солевого раствора, методика сорбционного статического контакта и определения коэффициентов распределения ионов ^{137}Cs описаны в работе [11].

Изучение морфологии и дисперсности частиц проводили на сканирующем электронном микроскопе «VEGA II» LSH фирмы TESCAN (Чехия). Токопроводимость образцов обеспечивалось нанесением покрытия на основе золота с помощью установки ионной металлизации JFC – 1100 фирмы JEOL (Япония).

Для исследования применялся метод молекулярной спектроскопии в ИК-области спектра. Образцы отбирались пинцетом под микроскопом "МБС-10". Спектры получали на ИК-Фурье спектрофотометре "FTIR-8601 PC" фирмы "SHIMADZU" с алмазной кюветой "5^x beam condenser, p/n 8950 series" фирмы "Graseby specac" с разрешением 8 см^{-1} (аподизация Хатта-Гензеля) после усреднения накопленных спектрограмм содержащих 64 сканирования. Спектры были записаны в диапазоне $4000 - 400\text{ см}^{-1}$ при использовании DTGS-детектора.

Фазовый состав препаратов изучали методом рентгенофазового анализа с помощью дифрактометра "ДРОН 4-13". Излучение рентгеновской трубки – $\text{CoK}\alpha$; фильтр – Fe; монохроматор – отсутствует; $U = 40\text{ кВ}$; $I = 25\text{ мА}$; образец не вращался. Регистрация общего спектра проводилась в интервалах углов $2\theta^0$: $10,00 - 80,00$ с шагом $0,1^0$.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлен фрагмент частицы древесного активированного угля с иммобилизованными частицами бинарного ферроцианида $n\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \times m\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, которые локализуются на внутренней поверхности сосудов в виде частиц размером $0,5 - 3\text{ мкм}$.

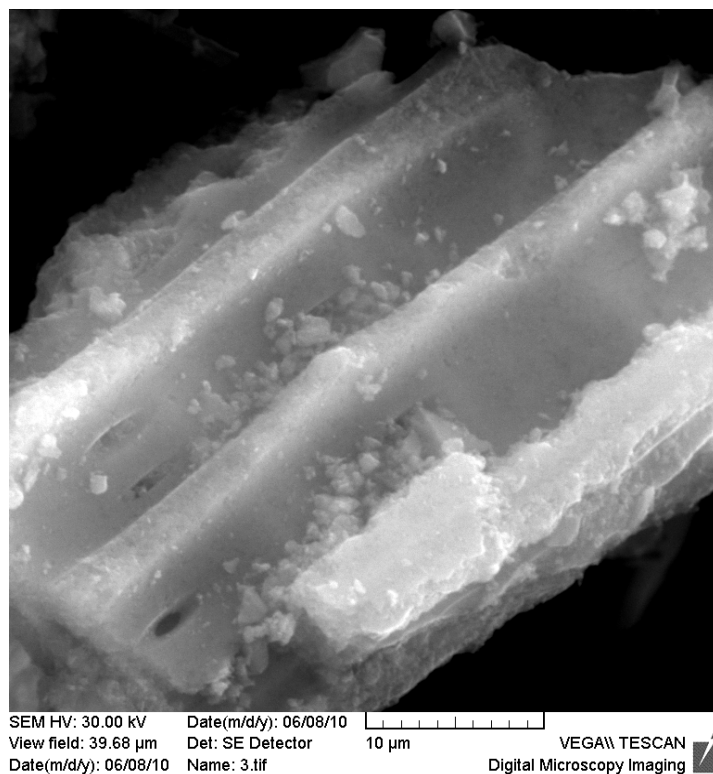


Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение фрагмента частицы древесного активированного угля с нанесенным препаратом бинарного ферроцианида

По результатам исследований установлено, что наиболее высокий коэффициент распределения имеют препараты с массовой долей ферроцианида меди в бинарном ферроцианиде 70–75 % ($K_d(^{137}\text{Cs}) = 10^6 \text{ см}^3 / \text{г}$) в пересчете на активное начало, что значительно превосходит показатель $K_d(^{137}\text{Cs}) = 3,4 \cdot 10^4$ для известного препарата «Ферроцин». Достаточно высокими значениями K_d обладают препараты с массовой долей ферроцианида меди 30–35%.

Если предположить, что в процессе синтеза формируется простая смесь ферроцианидов железа и меди, то должен выполняться принцип аддитивности, т.е. коэффициент распределения ^{137}Cs в любой точке равен сумме вкладов компонентов, в зависимости от массовой доли каждого из них. Полученные нами экспериментальные значения $K_d(^{137}\text{Cs})$ оказались достоверно выше. На рисунке 2 показаны величины коэффициента нарушения аддитивности $\alpha = K_d^{\text{эксп}} / K_d^{\text{расч}}$.

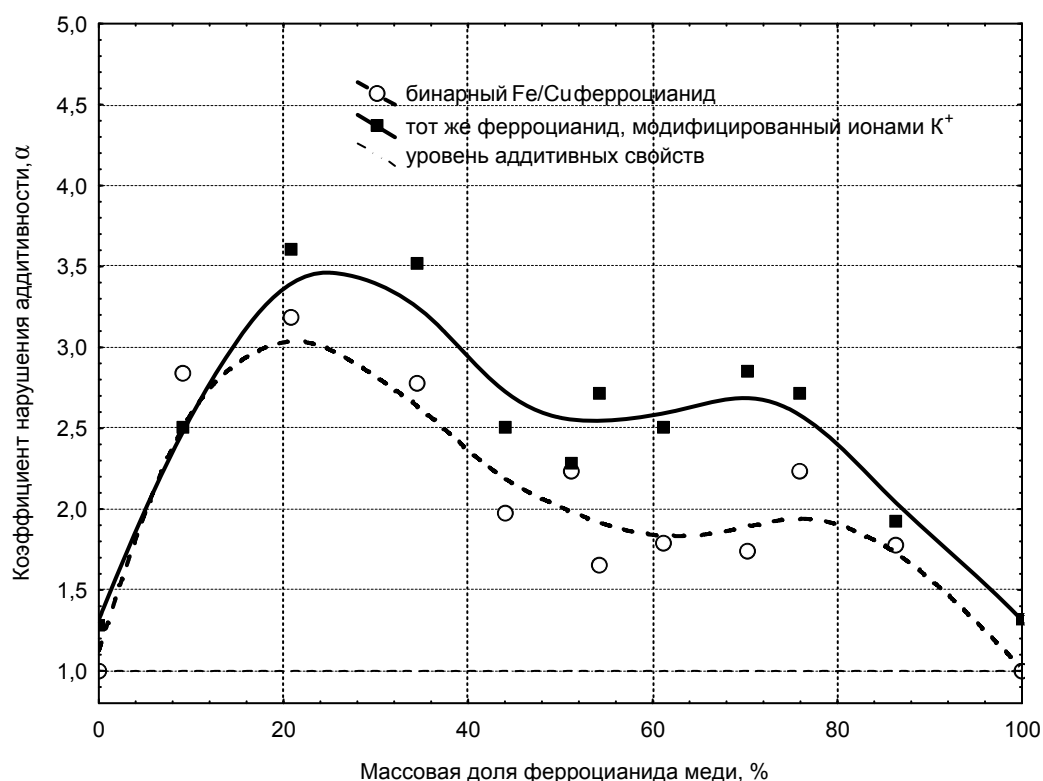


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента нарушения аддитивности от массовой доли ферроцианида меди в бинарном ферроцианиде

Весьма важно отметить, что в области валентных колебаний нитрильной группы на ИК-Фурье спектрах образца состава $2 \text{ Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ наблюдается ярко выраженный дублет 2098 и 2064 см^{-1} . Указанный состав соответствует примерно равной массовой доле компонентов, а данные полосы поглощения характерны для чистых препаратов ферроцианидов меди и железа, соответственно [9]. Именно эта область по значениям $K_d(^{137}\text{Cs})$ ближе всего к уровню аддитивности (рисунок 2). В препаратах, где массовая доля одного из компонентов доминирует, полоса поглощения валентных колебаний нитрильной группы имеет несколько растянутый синглет и находится в пределах от 2090–2095 см^{-1} , т.е. расположена в промежуточной области.

Согласно результатам рентгеноструктурного анализа, пики дифракции бинарного препарата с массовой долей ферроцианида меди около 50 % (рисунок 5) представляют собой суперпозицию (наложение) пиков дифракции индивидуальных препаратов средних ферроцианидов (рисунки 3, 4). В препаратах с доминированием одного из компонентов суперпозиция не обнаружена, а пики дифракции соответствуют компоненту с большей массовой долей

со снижением интенсивности пика (степени кристалличности).

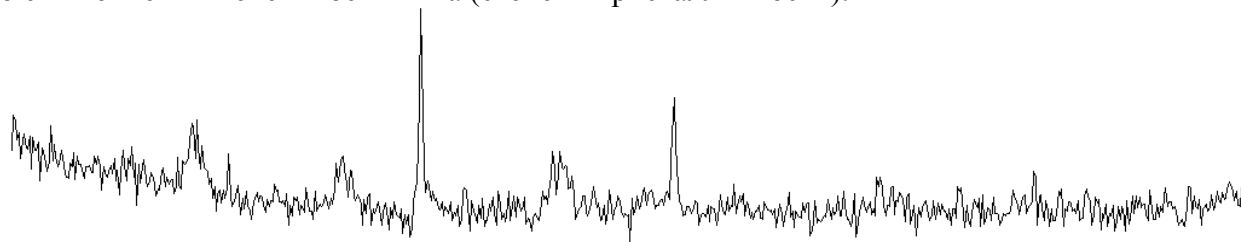


Рисунок 3 – Общий вид дифрактограммы образца $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$

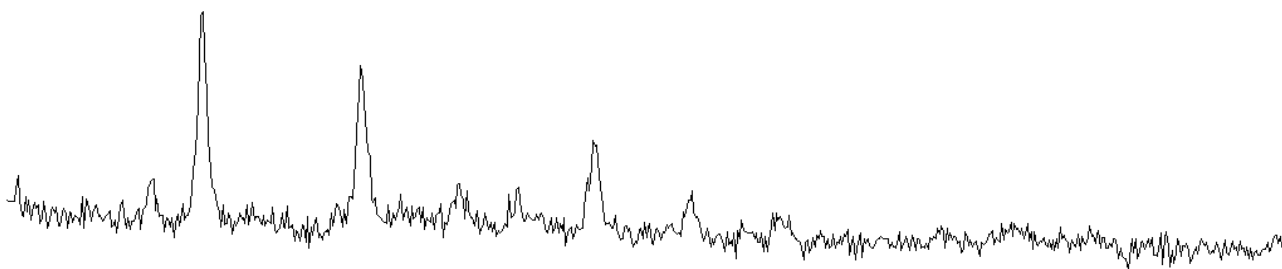


Рисунок 4 – Общий вид дифрактограммы образца $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

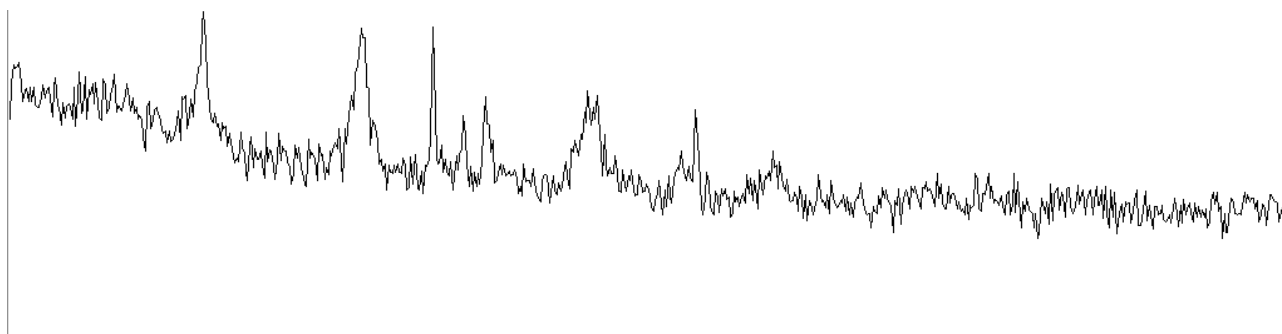


Рисунок 5 – Общий вид дифрактограммы образца $2 \text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать следующие предположения о характере формирования структур бинарных ферроцианидов железа и меди. Быстрый синтез из сантимольярных растворов (массовая доля препаратов в материале около 5 %) при наличии активно сорбирующей угольной матрицы могут создавать два эффекта. Первый – довольно высокая дисперсность частиц (0,5–3 мкм); второй – различное фазовое состояние бинарных препаратов в зависимости от намечаемого массового соотношения ферроцианидов меди и железа. При доминировании какого-либо ферроцианида ($\approx 90\%$) формируется твердый раствор (рисунок 2), где для ионов калия пространство ограничено. Именно поэтому эффект за счет их ионного обмена весьма незначителен (как и в моно-препаратах).

В области с равными массовыми долями компонентов достигается состояние, близкое к полному фазовому разделению. Эта область ближе всего к линии аддитивности (рисунок 2). Однако межфазный слой имеет некоторый свободный объем, способный по стерическим факторам ускорять сорбцию гидратированных ионов ^{137}Cs или ионный обмен с калием, которому появляется пространство при модификации. Наконец, в области 70–80 % каждого из ферроцианидов реализуется состояние незавершенного фазового разделения компонентов, где скорость сорбции наибольшая, ввиду формирования неравновесной (метастабильной) структуры с диффузным переходным слоем. Применительно к спинодальному распаду – это состояние между бинадалью и спинодалью. Реализация этого состояния будет еще зависеть от температуры. Вышеописанное предположение находит подтверждение в том, что моди-

фикация ионами калия не приводит к изоморфному замещению ионов железа или меди, поскольку ни в одном из синтезов модифицированных форм не наблюдались положительные качественные реакции по указанным ионам в маточных растворах.

Литература

1. Нестеренко В.С., Рачковская Л.Н., Будагов Р.С. Эффективность использования синтетического углеродно-минерального сорбента при комбинированных радиационно-термических поражениях // Эксперим. клин. фармакол. – 1995. – Т.58, №5.-С.65-67.
2. Ставицкая С.С., Стрелко В.В., Викарчук Б.М. Оценка селективности сорбции ионов токсичных металлов композиционным сорбентом «Ультрасорб» и его компонентами // Эфферентная терапия. – 2001. – Т.7, №1. – С.60-63.
3. Шарыгин Л.М., Муромский А.Ю., Калягина М.Л. Структура и свойства селективного к цезию гранулированного неорганического катионообменника // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2006. – Т.6, Вып.6. – С. 965-971.
4. Воронина А.В., Ноговицына Е.В., Бетенеков Н.Д. Оценка статических характеристик ферроцианидов на основе гидратированного диоксида титана марки «Термоксид-5» // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2006. – Т.6, Вып.6. – С. 960 – 964.
5. Ремез В.П., Зеленин В.И., Смирнов А.Л. Целлюлозно-неорганические сорбенты в радиохимическом анализе. I. Перспективные сорбенты для радиохимического анализа // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2009. – Т.9, Вып.5. – С. 627- 632.
6. Ремез В.П., Зеленин В.И., Смирнов А.Л. Целлюлозно-неорганические сорбенты в радиохимическом анализе. II. Синтез и свойства сорбента АНФЕЖ® // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2009. – Т.9, Вып.5. – С. 739- 744.
7. Авраменко В.А., Железнов В.В., Сокольников Т.А. Строение и свойства ферроцианидных сорбентов на основе металлсодержащих углеродных волокон// Сорбционные и хроматографические процессы. – 2006. – Т.6, Вып.6. – С. 899- 904.
8. Тиньгаева Е.А., Зильберман М.В. Синтез и свойства органоминеральных сорбентов //ЖПХ. – 2005. – Т. 78, Вып. 9. – С. 1440–1443.
9. Тананаев И.В., Сейфер Г.Б. Химия ферроцианидов. – М. : Наука, 1971. – 320с.
10. Михайлов О.В. Имобилизация (dd) гетероядерных гексацианоферратов (II) в желатиновой матрице // Известия Академии Наук (Сер. Хим.), – 2008. – Т. 57, № 1. – С. 8 – 17 (обзор).
11. Корытко О.В., Пролесковский Ю.А., Шумилин В.А. Структура и ионообменные свойства комбинированных ферроцианидов переходных металлов / Свиридовские чтения: Сборник статей. – Мн.:Изд-во БГУ, 2005. – Вып. 2. – С.34-39.

Видовая структура сообществ рыб реки Сож и ее притоков

Д. В. ПОТАПОВ, Г. Г. ГОНЧАРЕНКО

В статье проанализированы особенности видовой структуры сообществ рыб реки Сож и ее притоков, выявлена специфика видового состава и структуры естественных сообществ рыб в восьми станциях, расположенных на реке Сож и сопутствующих водоемах (старицы, озера) в окрестностях и черте г. Гомеля. Обследованные станции обладают достаточно высоким видовым разнообразием и численностью особей рыб в уловах. В уловах преобладают малоценные виды рыб (уклея, густера, плотва, окунь). Степень фаунистического сходства между станциями высока. Максимальные показатели информационного разнообразия получены для озер и стариц, сопутствующих реке Сож.

Ключевые слова: Рыбы, ихтиофауна, сообщества рыб, видовой состав, река Сож, притоки, биологическое разнообразие, индексы видовой структуры.

The article deals with the species composition and parameters of species structure of fishes communities of the river Sozh and accompanying reservoirs. Indexes of species structure are analyzed and comparison of fishes complexes of various reservoirs of river basin Sozh is made in this article. The species composition of fishes fauna of the river Sozh is characterized as various and stable.

Keywords: Fishes, fishes fauna, fishes communities, species composition, river Sozh, tributaries, biodiversity, indexes of species structure.

Введение

С зоогеографической точки зрения территория Беларуси относится к региону, который находится на стыке двух различных провинций: к Черноморско-Каспийско-Аральской зоогеографической провинции принадлежит бассейн Днепра, входящий в состав Черноморского округа; к Балтийской зоогеографической провинции – бассейны Немана, Западного Буга и Западной Двины [1-4].

Черноморско-Каспийско-Аральская провинция значительно богаче видами рыб, главным образом за счёт сохранившихся форм доледниковой ихтиофауны. В её составе много эндемичных родов и видов: бычок-песчаник, ёрш-носарь и другие. Балтийская провинция отличается сравнительно большим разнообразием лососёвых рыб и отсутствием эндемичных родов и видов [1].

В водоёмах Беларуси в настоящее время обитает около 60 видов рыб, относящихся к 19 семействам. В их числе 13 видов являются интродуцентами, завезёнными в республику из других географических областей для акклиматизации и разведения или проникшими в водоемы Беларуси естественным путем. Из ихтиофауны Беларуси исчезли 12 видов проходных ценных рыб. В связи с обмелением основных рек и зарегулированием их стока плотинами электростанций, за последние 50-60 лет до пределов Беларуси перестали подниматься из Чёрного моря белуга, осётр русский, вырезуб, рыбец; из Балтийского моря не заходят минога речная, осётр балтийский, лосось, кумжа, сиги [3, 4].

Из представителей современной ихтиофауны только в бассейне Днепра водятся стерлядь, голянь озёрный, белоглазка, синец, чехонь, ёрш-носарь, бычок-песчаник. Специфичными для водоёмов бассейна Балтийского моря являются минога ручьевая, хариус, ряпушка, снеток, угорь, девятиглая и трёхглая колюшки [1].

К сожалению, характерной особенностью сложившихся к настоящему времени ихтиологических комплексов промысловых водоёмов Беларуси, является большая численность и широкое распространение во всех озёрах, пойменных водоёмах и водохранилищах малоценных и сорных рыб (ёрш, густера, уклея, плотва, окунь и др.). Занимая те же участки, что и ценные промысловые виды, они подавляют их воспроизводство и тормозят накопление их промысловой численности. Широко распространены в естественных водоёмах хищники, в особенно-

сти щука. Последнюю, может быть, нельзя относить к малоценным рыбам, но надо помнить, что на прирост одного килограмма веса ей требуется 8-10 кг других рыб, а при зарыблении водоёмов молодью ценных видов щука целиком переключается на питание ими и истребляет посадочный материал почти полностью. Несомненно, что такое соотношение видов в промысловых рыбохозяйственных водоёмах является неблагоприятным для организации рационального рыбного хозяйства и должно быть существенным образом изменено [1-5].

В виду вышесказанного, изучение видового состава и структуры сообществ рыб в водоемах Белорусского Полесья носит значительный научный и практический интерес.

Целью исследований являлось изучение видового разнообразия и структуры естественных сообществ рыб реки Сож и сопутствующих водоемов в условиях Гомельского района.

Объект, место и методика исследований

Объектом исследований служила ихтиофауна реки Сож, пойменных водоемов и озер, сопутствующих реке Сож.

Изучение ихтиофауны реки Сож и пойменных водоемов проводилось в период времени с июня 2008 года по март 2010 года на следующих водоемах: река Сож в окрестностях города Гомеля, озера «Володькино» и «Обкомовское», а так же на пойменных водоемах в пределах следующих станций отлова.

Стация № 1: Участок реки Сож, деревня «Плесь». Ширина реки на данном участке 80-100 метров. Течение сильное. Берега пологие, правый песчаный, изредка встречаются кустарники, левый заболоченный. В прибрежной зоне много водной растительности, которая доходит до глубины 1 метра. Русло прямое. Наибольшая глубина 3-3,5 метра.

Стация № 2: Участок реки Сож, микрорайон «Мельников луг». Данный участок характеризуется незначительным течением, русло реки прямое, наибольшая глубина 4,5-5,5 метра. Имеются отмели. Ширина реки 60-80 метров. Правый берег пологий с изредка встречающимися кустарниками, водной растительности немного. Левый берег обрывистый, в береговой зоне много водной растительности.

Стация № 3: Участок реки Сож в окрестностях УНБ «Ченки». Русло реки на этом участке извилистое. Ширина реки 80-120 метров. По берегам встречаются кустарники. Местами левый берег обрывистый, правый пологий. Скорость течения очень большая. В прибрежной зоне много водной растительности. Дно песчаное.

Стация № 4: Озеро «Володькино» – слабопроточный водоем, через него протекает река Сож. Длинна около 1000 метров, ширина 600-800 метров. Берега песчаные пологие, изредка обрывистые. Водная растительность скудная. Глубина колеблется в широких пределах, имеются отмели и большие глубины. Наибольшая глубина 13-15 метров. Дно в основном песчаное.

Стация № 5: Озеро «Обкомовское» – имеет округлую форму. Ширина 300 метров, длинна 400 метров. Наибольшая глубина 14 метров. Берега пологие песчаные, незначительно заросшие кустарниками. В прибрежной зоне развита водная растительность, которая доходит до глубины 1,5-2 метра. Дно песчаное, местами илистое.

Стация № 6: Озеро, расположенное около деревни «Плесь». Берега на всем протяжении низкие, сложены песком, заросшие местами кустарниками. На озере преобладают глубина в 2,5-3 метра, местами достигает 10 метров, имеется много отмелей и островов. Прибрежная зона на небольших глубинах выстлана песком, местами дно илистое. В прибрежной зоне и на мелях много водной растительности.

Стация № 7: Старица реки Сож, микрорайон «Мельников луг». На старице имеется незначительное течение. Берега пологие: левый берег – лиственный лес, на правом встречаются кустарники. Наибольшая глубина 4 метра. В прибрежной зоне много водной растительности. Дно илистое, местами песчаное.

Стация № 8: Старица реки Сож в районе УНБ «Ченки». Берега пологие, изредка встречаются кустарники. Прибрежная зона густо заросшая водной растительностью, среди которой преобладает кубышка желтая. Дно илистое. Наибольшая глубина 3-4 метра.

Отлов рыбы в различных водоемах позволил получить более достоверные данные о видовом составе, так как каждый вид имеет свои экологические особенности и обитает в

специфичных для него условиях.

Отлов рыбы проводился согласно стандартным методикам [6, 7]:

1 Ужение поплавочной удочкой. В качестве наживки использовались большой выползок, мотыль, опарыш и др. Данным способом были отловлены следующие виды рыб: плотва, густера, окунь, уклея, белоглазка, лещ, язь.

2 Ужение донкой. В качестве наживки использовались: червь, пиявка, живец (бычок-песчаник). Этим способом были отловлены следующие виды: густера, лещ, окунь, ерш, ерш-носарь.

3 Ловля спиннингом. Были отловлены такие виды как щука, окунь.

4 «Кораблик». Данная снасть позволяет ловить рыб, питающихся с поверхности воды и в поверхностных слоях воды. В качестве наживки использовался кузнечик. Данным способом были отловлены следующие виды: жерех, чехонь, окунь, уклея, голавль.

В ходе проведения исследований изучались параметры биологического разнообразия [8] сообществ рыб в обследованных стациях:

1 Информационное разнообразие сообщества (индекс Шеннона):

$$H' = -\sum (n_i/N) \log(n_i/N),$$

где n_i – число особей i -го вида; N – общее число особей всех видов в сообществе.

Индекс показывает общее разнообразие и представительность видов их особями в сообществе. Обычно укладывается в интервал от 1 до 3,5 (чем выше, тем больше видовое разнообразие сообщества).

2 Индекс концентрации доминирования (индекс Симпсона):

$$D = \sum (n_i/N)^2,$$

где n_i – число особей i -го вида; N – общее число особей всех видов в сообществе

Индекс является показателем общего доминирования в сообществе, обратно пропорционален предыдущему индексу. Изменяется в диапазоне от 0 до 1 (чем он выше, тем меньшее число видов доминирует в сообществе). Высокий показатель может свидетельствовать об устоявшемся биоценозе со стабильной видовой структурой.

3 Выравненность видов в сообществе (индекс Пиелу):

$$e = H'/\ln S,$$

где H' – индекс Шеннона, S – число видов в сообществе.

Индекс показывает, насколько виды в равных долях представлены особями. Изменяется в пределах от 0 до 1. Чем он больше, тем выше показатель нарушенности биоценоза, или такой показатель свидетельствует о том, что сообщество находится на стадии формирования.

4 Коэффициент фаунистического сходства сообществ (коэффициент Жаккара):

$$Kg = C/((A + B) - C),$$

где A – число видов в 1-м сообществе, B – число видов во 2-м сообществе, C – число видов, общих для обоих сообществ.

Индекс Жаккара варьирует в следующих интервалах:

0,65-1,00 – полное сходство сообществ;

0,40-0,64 – высокое сходство;

0,20-0,39 – низкое сходство;

< 0,2 – сходства между сообществами нет.

Результаты и обсуждение

За период выполнения работы было отловлено 1789 особей относящихся к 26 видам и 6 семействам. Все полученные данные сведены в таблицу 1.

При анализе полученных данных видно, что наиболее богата видами станция № 4 – озеро «Володькино» (16 видов). Это связано с тем, что на данном водоеме наряду с озерно-

речными рыбами встречаются и речные (подуст, белоглазка, ерш-носарь), так как данному водоему свойственны экологические особенности как озера, так и реки.

На всех исследуемых станциях встречаются такие виды, как густера, лещ, плотва, укля, окунь, что связано с массовостью данных видов рыб в бассейне рек Черноморского округа. Почти на всех водоемах, за исключением одного (озеро «Обкомовское»), встречается щука, также являющаяся типичным видом местной ихтиофауны. На станции № 7 (старица реки Сож в микрорайоне «Мельников луг») встречается вид головешка-ротан, который ранее не встречался в Республике Беларусь, но в настоящее время, в результате активной интродукции, уже имеет широкое распространение в полужакрытых, зарастающих водоемах. Также обращает на себя внимание тот факт, что в старицах реки Сож (в окрестностях микрорайона «Мельников луг» и УНБ «Ченки») встречаются такие довольно редкие единичные виды, как вьюн, горчак, щиповка, верховка. В целом видовое богатство озер и стариц, сопутствующих реке Сож выше, чем в реке Сож (12-16 видов по сравнению с 10-12 видами соответственно), что объясняется большим постоянством экологических условий в полужакрытых водоемах и, как следствие, более стабильными, сложившимися на протяжении долгого времени ихтиокомплексами.

Таблица 1 – Параметры видового разнообразия сообществ рыб исследованных станций

№	Вид	Стация отлова, ос.							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Укля (<i>Alburnus alburnus</i> L.)	63	42	32	35	48	29	61	51
2	Густера (<i>Blicca bjoerkna</i> L.)	59	35	49	54	42	40	33	47
3	Плотва (<i>Rutilus rutilus</i> L.)	25	21	36	31	22	25	41	39
4	Окунь (<i>Perca fluviatilis</i> L.)	33	28	26	41	20	32	19	41
5	Ерш-носарь (<i>Gymnocephalus acerina</i> Bloch)	43	–	–	17	19	24	25	–
6	Белоглазка (<i>Abramis sapa</i> Pall.)	29	–	–	35	17	–	–	–
7	Ерш (<i>Gymnocephalus cernuus</i> L.)	22	–	–	13	17	20	8	–
8	Жерех (<i>Aspius aspius</i> L.)	–	–	29	–	15	24	–	–
9	Чехонь (<i>Pelecus cultratus</i> L.)	–	–	–	–	43	–	–	–
10	Щука (<i>Esox lucius</i> L.)	5	3	12	2	–	3	11	2
11	Лещ (<i>Abramis brama</i> L.)	4	5	3	2	3	4	6	10
12	Елец (<i>Leuciscus leuciscus</i> L.)	20	–	–	9	–	–	–	–
13	Бычок-песчаник (<i>Neogobius fluviatilis</i> Pall.)	3	3	6	11	–	–	1	–
14	Красноперка (<i>Scardinius erythrophthalmus</i> L.)	–	–	–	–	4	4	5	1
15	Язь (<i>Leuciscus idus</i> L.)	–	4	–	3	–	1	–	2
16	Пескарь (<i>Gobio gobio</i> L.)	3	3	–	1	–	–	–	–
17	Линь (<i>Tinca tinca</i> L.)	–	–	–	–	–	1	1	4
18	Ротан (<i>Perccottus glenii</i> Dybowski)	–	–	–	–	–	–	4	–
19	Карась золотой (<i>Carassius carassius</i> Jarocki)	–	2	1	1	–	–	–	–
20	Щиповка (<i>Cobitis taenia</i> L.)	–	–	–	–	–	–	–	4
21	Подуст (<i>Chondrostoma nasus</i> L.)	–	–	2	1	–	–	–	–
22	Судак (<i>Sander lucioperca</i> Oken)	–	–	1	1	1	–	–	–
23	Вьюн (<i>Misgurnus fossilis</i> Lacepède)	–	–	–	–	–	–	–	2
24	Верховка (<i>Leucaspius delineatus</i> Heckel)	–	–	–	–	–	–	2	–
25	Голавль (<i>Leuciscus cephalus</i> L.)	–	–	–	–	1	–	–	–
26	Горчак (<i>Rhodeus sericeus</i> Agassiz)	–	–	–	–	–	–	–	1
Всего особей, шт.		309	146	197	257	252	207	217	204
Всего видов, шт.		12	10	11	16	13	12	13	12
Информационное разнообразие, H', отн. ед.		0,9 4	0,79	0,84	0,96	0,9 5	0,9 2	0,8 9	0,7 9
Концентрация доминирования, D, отн. ед.		0,13	0,20	0,16	0,13	0,12	0,13	0,16	0,19

Выравненность по Пиелу, е, отн. ед.	0,38	0,34	0,35	0,35	0,37	0,37	0,35	0,32
--	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Анализируя данные таблицы 1, можно отметить относительно невысокие индексы информационного разнообразия сообществ (меньше 1 по всем биотопам), что связано с большим количеством видов в уловах по всем станциям в целом при нахождении только части этих видов в разных станциях по отдельности. В связи с этим закономерны невысокие индексы биологического разнообразия по каждой из станций, при высоком видовом богатстве реки Сож в целом. Максимальные индексы Шеннона получены для озерных станций, что подтверждает гипотезу о более высоком биоразнообразии сообществ рыб в озерных экосистемах, связанных с крупным проточным водоемом.

При анализе индексов концентрации доминирования можно заключить, что станции № 2 (участок реки Сож, микрорайон «Мельников луг») и № 8 (старица реки Сож в районе УНБ «Ченки») отличаются самым небольшим количеством доминирующих видов (индексы Симпсона 0,20 и 0,19 отн. ед. соответственно). Малое количество доминантов может свидетельствовать об устойчивости данных сообществ. В целом, показатели доминирования невысоки, что говорит о продолжении процессов формирования ихтиокомплексов в реке Сож и сопутствующих водоемах. На это же указывают сравнительно высокие показатели выравнинности видов в сообществах (индексы Пиелу): схожие показатели по этому параметру по всем станциям подтверждают вышеотмеченные закономерности.

В ходе анализа полученных данных производилось также фаунистическое сравнение обследованных станций между собой (таблица 2). Полученные данные свидетельствуют о низком фаунистическом сходстве следующих станций: станции № 1 (участок реки Сож, деревня «Плесь») и станции № 8 (старица реки Сож в районе УНБ «Ченки»); станции № 2 (участок реки Сож, микрорайон «Мельников луг») и станции № 5 (озеро «Обкомовское»); станции № 4 (озеро «Володькино») и станции № 8; станции № 5 и станции № 8. Таким образом, обращает на себя внимание факт фаунистической специфичности станции № 8, что подтверждается результатами уловов: в старице реки Сож в районе УНБ «Ченки» отловлены такие виды, как щиповка, вьюн и горчак, не встреченные в других точках отлова.

Вместе с тем можно говорить о полном сходстве следующих сообществ: станции № 1 и станции № 4 ($K_g = 0,75$); станции № 6 (озеро, расположенное около деревни «Плесь») и станции № 7 (старица реки Сож в микрорайоне «Мельников луг») ($K_g = 0,67$). Этот факт объясняется географической близостью указанных станций (река «Сож» и сопутствующие водоемы в окрестностях деревни «Плесь» и рядом с микрорайоном «Мельников луг»).

Таблица 2 – Фаунистическое сходство сообществ рыб из разных станций, отн. ед.

Станции	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0,57	0,43	0,75	0,47	0,50	0,56	0,33
2	0,57		0,61	0,63	0,28	0,38	0,44	0,47
3	0,43	0,61		0,59	0,41	0,44	0,41	0,35
4	0,75	0,63	0,59		0,45	0,47	0,45	0,33
5	0,47	0,28	0,41	0,45		0,56	0,44	0,32
6	0,50	0,38	0,44	0,47	0,56		0,67	0,50
7	0,56	0,44	0,41	0,45	0,44	0,67		0,47
8	0,33	0,47	0,35	0,33	0,32	0,50	0,47	

В основном же, большинство станций имеет высокую степень видового сходства между собой (0,4-0,6 отн. ед.), что вполне закономерно объясняется единством бассейна Сожа и большей или меньшей связью всех водоемов посредством средообразующей реки.

В целом, можно отметить, что все обследованные станции характеризуются достаточно разнообразным видовым составом (не менее 10 видов в каждой из станций по результатам уловов) и значительной численностью особей в уловах, что отражено в таблице 3.

Таблица 3 – Численность и относительное обилие особей рыб в уловах

№	Вид	Численность особей в уловах	Относительное обилие, %
1	Уклея (<i>Alburnus alburnus</i> L.)	361	20,18
2	Густера (<i>Blicca bjoerkna</i> L.)	359	20,06
3	Плотва (<i>Rutilus rutilus</i> L.)	240	13,41
4	Окунь (<i>Perca fluviatilis</i> L.)	240	13,41
5	Ерш-носарь (<i>Gymnocephalus acerina</i> Bloch)	128	7,15
6	Белоглазка (<i>Abramis sapa</i> Pall.)	81	4,52
7	Ерш (<i>Gymnocephalus cernuus</i> L.)	80	4,47
8	Жерех (<i>Aspius aspius</i> L.)	68	3,80
9	Чехонь (<i>Pelecus cultratus</i> L.)	43	2,40
10	Щука (<i>Esox lucius</i> L.)	38	2,12
11	Лещ (<i>Abramis brama</i> L.)	37	2,07
12	Елец (<i>Leuciscus leuciscus</i> L.)	29	1,62
13	Бычок-песчаник (<i>Neogobius fluviatilis</i> Pall.)	24	1,34
14	Красноперка (<i>Scardinius erythrophthalmus</i> L.)	14	0,78
15	Язь (<i>Leuciscus idus</i> L.)	10	0,55
16	Пескарь (<i>Gobio gobio</i> L.)	7	0,39
17	Линь (<i>Tinca tinca</i> L.)	6	0,33
18	Ротан (<i>Perccottus glenii</i> Dybowski)	4	0,22
19	Карась золотой (<i>Carassius carassius</i> Jarocki)	4	0,22
20	Щиповка (<i>Cobitis taenia</i> L.)	4	0,22
21	Подуст (<i>Chondrostoma nasus</i> L.)	3	0,16
22	Судак (<i>Sander lucioperca</i> Oken)	3	0,16
23	Вьюн (<i>Misgurnus fossilis</i> Lacepède)	2	0,11
24	Верховка (<i>Leucaspius delineatus</i> Heckel)	2	0,11
25	Голавль (<i>Leuciscus cephalus</i> L.)	1	0,05
26	Горчак (<i>Rhodeus sericeus</i> Agassiz)	1	0,05
Итого		1789	100

Примечание: в таблице 3 указаны только виды, отловленные за период проведения исследований. Следует отметить, что, по данным многолетних уловов, в реке Сож и сопутствующих водоемах встречаются ряд менее распространенных видов, таких как сом, налим, синец, голец и др., которые в наших уловах не встретились.

Из таблицы 3 видно, что преобладающими видами в уловах являются уклея – 20,18% от общей выборки, густера – 20,06%, плотва – 13,41%, окунь – 13,41%, ерш-носарь – 7,15%. Однако надо отметить, что данные доминанты относятся к малоценным и сорным рыбам, что свидетельствует о представленности ихтиофауны Сожа и сопутствующих водоемов, в основном, малоценными и сорными видами рыб. К сожалению, данные виды занимают те же участки, что и ценные промысловые виды рыб и, как следствие, тормозят накопление их численности и биомассы.

Из ценных промысловых видов по численности преобладают в уловах: жерех – 3,80%, щука – 2,12%, лещ – 2,07%, язь – 0,55%, судак – 0,16%. Единично встречен голавль и горчак, так как это одни из самых малочисленных видов в реке Сож, что соответствует литературным данным. Следует отметить, что в наших уловах отсутствуют такие промыслово-ценные виды рыб, как сом и налим, которые, несомненно, встречаются в водоемах бассейна реки Сож, однако численность их находится на невысоком уровне и поэтому в наших уловах они не встретились.

Заключение

1 В результате проведенных исследований было отловлено 1789 особей рыб, относящихся к 6 семействам и 26 видам (белоглазка, густера, лещ, плотва, красноперка, язь, елец, пескарь, голавль, укляя, подуст, линь, чехонь, жерех, окунь, судак, ерш, ерш-носарь, щука, бычок-песчаник, вьюн, карась золотой, горчак, щиповка, верховка, ротан). Наиболее богаты видами водоемы с различными условиями обитания, в таких водоемах водятся как речные виды, так и озерно-речные.

2 В целом, видовое богатство озер и стариц, сопутствующих реке Сож, выше, чем в реке Сож, что объясняется большим постоянством экологических условий в полужакрытых водоемах и, как следствие, более стабильными, сложившимися на протяжении долгого времени ихтиокомплексами. Для указанных водоемов получены максимальные показатели информационного разнообразия.

3 Показатели концентрации доминирования для обследованных станций невысоки, что говорит о продолжении процессов формирования ихтиокомплексов в реке Сож и сопутствующих водоемах. На это же указывают сравнительно высокие показатели выравнинности видов во всех обследованных сообществах.

4 Большинство станций имеет высокую степень видового сходства между собой, что вполне закономерно объясняется единством бассейна Сожа и большей или меньшей связью всех водоемов посредством средообразующей реки.

5 По численности преобладающими в уловах видами являются укляя, густера, плотва, окунь. Доминантами в обследованных сообществах являются укляя и густера, субдоминантами – плотва и окунь, остальные виды в большей или меньшей степени рецедентны. Единичны такие виды, как вьюн, верховка, голавль, горчак.

Литература

1. Рыбы: Популярный энциклопедический справочник / Белорус. Сов. Энцикл., Ин-т зоологии АН БССР / под ред. П.И. Жукова. – Мн: БелСЭ, 1989. – 311 с.
2. Шевцова, Т.И. Экология промысловых рыб Беларуси / Т.И. Шевцова, Т.Н. Нехаева, А.Н. Лях. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 143 с.
3. Жуков, П.И. Справочник по экологии пресноводных рыб / П.И. Жуков. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 310 с.
4. Жуков, П.И. Рыбы Беларуси / П.И. Жуков. – Мн.: Наука и техника, 1965. – 415 с.
5. Киселев, Я.Е. Рыбы наших вод / Я.Е. Киселев. – М.: Мысль, 1984. – 288 с.
6. Сабанеев, Л.П. Рыбы России. Жизнь и ловля пресноводных рыб / Л.П. Сабанеев. – М.: АСТ «Астрель», 2001. – Т.1. – 480 с.; Т.2. – 544 с.
7. Гедых, В.Б. Практические советы спиннингисту / В.Б. Гедых. – Мн.: Полымя, 2000. – 224 с.
8. Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М.: Мир, 1992. – 184 с.

ГЕОЛОГИЯ

УДК 750.83.553.98(476)

Особенности формирования девонских подсолевых и межсолевых нефтяных месторождений Припятского прогиба

А. П. Пинчук, Ф. Ш. Шаяхметов

Рассмотрены особенности формирования в Припятском прогибе залежей углеводородов в подсолевой и надсолевой толщах, обусловленные разломной тектоникой. Показана генетическая связь между основными этапами активизации разломов, активизации движения подземных вод и временем формирования нефтяных залежей. Проведен анализ амплитуд разломов, к которым приурочены нефтяные месторождения в подсолевой и межсолевой толще, для соответствующего времени развития Припятского прогиба.

Ключевые слова: углеводороды, тектоника.

The peculiarities of oil field formation in the Pripyat trough in subsalt and intersalt sediments, which is caused by fault tectonics, are considered in the article. The genetic connection between the main phase of fault activation, activation of underground water moves and the time of oil field formation are shown. For the corresponding time of the Pripyat trough evolution the analysis of amplitudes of faults that are accompanied by oil fields in subsalt and intersalt sediments is fulfilled.

Keywords: oil field formation, tectonic.

Нефтяные залежи Припятского прогиба, выявленные в девонских отложениях, расположены вдоль региональных разрывных нарушений субширотного простирания и ориентированы в том же направлении [1]. Это признак генетической связи формирования указанных залежей с тектоническими подвижками по разломам.

Относительно роли разломов в формировании зон нефтегазонакопления и нефтегазовых залежей существуют, в основном, три точки зрения.

Многие исследователи различных нефтегазоносных бассейнов [3, 4, 6] формирование зон нефтегазонакопления и значительную концентрацию запасов углеводородов в их пределах связывают с созидательной ролью разломов. Исследователи не отрицают и того факта, что разломы иногда могут привести к частичному или полному разрушению скоплений нефти и газа.

Представители второй точки зрения утверждают, что разломы не контролируют формирование зон нефтегазонакопления а способствуют частичному или полному разрушению некогда сформированных скоплений углеводородов.

Третья группа исследователей, признавая ведущую роль разломов при вертикальной миграции углеводородов из глубинных зон к поверхности Земли, склоняется к мысли о неорганической теории происхождения нефти.

Гаврилов В. П. [6] объясняет наличие указанных противоречий тем, «что влияние региональных разломов на формирование скоплений нефти и газа может быть благоприятное и неблагоприятное и приводить к диаметрально противоположным результатам. По-видимому, это является причиной того, что одни исследователи приводят факты приуроченности залежей нефти и газа к разломам земной коры, а другие – факты, доказывающие отсутствие в зонах разломов скоплений углеводородов».

Проведенные исследования в Припятском прогибе показывают, что образование на территории прогиба локальных структур по девонским отложениям, в основном, было обусловлено тектоническими подвижками блоков фундамента по разломам. В результате этих

движений, существенно усилившихся в авлакогенной стадии развития Припятского прогиба, локальные поднятия по девонским подсолевым отложениям приобрели вид флексур, полубрахииантклиналей, осложненных разрывами. Преимущественно они расположены над восходящими блоками фундамента и служили ловушками для нефти и газа.

Вверх по разрезу амплитуды смещения пород по разломам закономерно уменьшаются. Вследствие этого первичное залегание межсолевых отложений значительно менее нарушено разрывными дислокациями, сравнительно с подсолевыми образованиями.

Формирование нефтегазовых ловушек в межсолевых отложениях прогиба происходило не только под влиянием тектонических движений блоков фундамента вдоль широтно-ориентированных разломов, но и в результате проявления соляного тектогенеза во франской соленосной толще. Локальные ловушки нефти в подсолевых и межсолевых отложениях группируются в зоны нефтегазонакопления вдоль региональных субширотных разломов. Вопросам формирования залежей нефти в девонских подсолевых и межсолевых отложениях Припятского прогиба посвящен ряд работ [6, 8, 11].

Тектонические движения по разломам обусловили не только возникновение и развитие структурных форм ловушек для нефти и газа, но также улучшение коллекторских свойств пород, создание гидродинамического режима пластовых вод и гидрохимических особенностей подсолевых и межсолевых отложений, способствовавших формированию нефтяных залежей.

Влияние региональных разломов на улучшение коллекторских свойств пород выразилось в образовании трещин. Как установлено Демидовичем Л. А. [7], трещины прослеживаются по обе стороны от разломов, и преимущественно ориентированы в вертикальном или близком к нему направлении. Наибольшей трещиноватостью характеризуются породы семи-лукского и задонско-елецкого горизонтов. Интенсивность образования трещин в приразломных зонах зависело от амплитуды и продолжительности тектонических движений по разломам. Однако непосредственно в зонах разломов и на расстоянии до первых десятков метров от них коллекторские свойства девонских отложений на преобладающей территории прогиба довольно низкие, что обусловлено нередким «залечиванием» пустотного пространства солью и перемежающимися с ней породами в процессе проявления соляной тектоники. По мере удаления от разломов на 3-4 км число трещин, не выполненных новообразованиями, обычно заметно увеличивается.

Пространственно-временная схема формирования залежей нефти в Припятском прогибе впервые составлена Бескопыльным В. Н. [2]. Им установлено, что в разных частях Припятского прогиба время генерации жидких углеводородов и начала первичной миграции в коллекторы, было различное. Формирование залежей нефти в северной части прогиба началось значительно раньше, чем в центральной и южной его частях. Так, в девонских подсолевых отложениях первичная миграция жидких углеводородов в районе Речицко-Шатилковской тектонической ступени началась в середине ранне-лебедянского, Червонослободско-Малодушинской тектонической ступени – в конце ранне-лебедянского, Зареченско-Великоборской тектонической ступени – в конце лебедянского времени, Петриковско-Хобнинской зоне осевых погруженных выступов и их переклиналей и Шестовичско-Сколодинской и Наровлянско-Ельской тектонических ступеней – в ранне-полесское время. Время формирования девонских подсолевых залежей нефти совпадает с авлакогенной стадией тектонического развития территории прогиба.

По данным Бескопыльного В. Н. [2], погруженным частям нижеследующих структур соответствуют: Речицко-Шатилковской ступени – Шатилковская, Червоно-Малодушинской ступени – Василевичская, Заречинско-Великоборской ступени – Копаткевичская, Петриковско-Хобнинской зоне осевых погруженных выступов и их переклиналей и Шестовичско-Сколодинской ступени – Мозырская, Ельско-Наровлянской ступени – Ельская депрессии.

По исследованиям Лаврова А. П. и др. [9], на территории прогиба движение подземных вод в качестве агента транспортировки углеводородов к ловушкам наиболее эффективным было на этапах наибольшей активизации разломов и обусловлено ими.

Таким образом, имелась тесная генетическая связь между основными этапами активизации разломов, активизации движения подземных вод и временем формирования нефтяных

залежей. Последнее в основном завершилось в среднекаменноугольное время, т. е. тогда, когда практически прекратились интенсивные тектонические движения по разломам.

По исследованиям Бескопыльного В. Н. [2] восходящие тектонические движения, происходившие в предпермское время, привели к остыванию осадочного чехла Припятского прогиба на 50°C и способствовали прекращению нефтеобразования как в подсолевых, так и в межсолевых отложениях.

Принципиально важно то, что ко времени интенсивного формирования залежей нефти, заключенных в девонских подсолевых отложениях, на территории прогиба существовало большое количество известных разрывных нарушений. На это указывает то обстоятельство, что основные залежи нефти, выявленные до сих пор в подсолевых отложениях, приурочены к головным частям тектонических ступеней, ограниченных региональными разломами. Формирование на территории прогиба залежей нефти в девонских межсолевых отложениях имеет много общего с формированием залежей нефти в подсолевых отложениях. Общим является то, что формирование их происходило в стадии авлакогенного развития Припятского прогиба, когда амплитуды движений по разломам достигали наибольших величин.

Для Припятского прогиба впервые доказана взаимосвязь между временем проявления наибольшей активизации разломов и распространением залежей различного возраста. Так, авторы этой разработки Горелик З. А., Брусенцов А. Н., Шаяхметов Ф. Ш. и др. [6] считают, что на площадях, где наибольшая активизация разрывных нарушений проявилась:

1) в ливенское время, а в последующем тектонические движения были слабыми, залежи нефти отсутствуют (Стреличевская площадь) или незначительные в девонских подсолевых отложениях (например, Надвинская площадь);

2) в ливенское время, а позднее более или менее интенсивные тектонические движения повторялись в задонско-елецкое время, залежи нефти имеют промышленное значение и заключены в девонских подсолевых отложениях (Восточно-Первомайская структура);

3) в ливенское время, а в последующем интенсивные тектонические движения наблюдались в задонско-елецкое и лебедянское время, промышленные залежи нефти имеются как в девонских подсолевых, так и межсолевых отложениях (Барсуковская структура);

4) в задонско-елецкое время, промышленные залежи нефти распространены в девонских подсолевых отложениях (Первомайская структура);

5) в лебедянско-стрешинское время и в процессе накопления надсолевых полесских и каменноугольных отложений, промышленные залежи нефти, местами с большими запасами заключены как в подсолевых, так и межсолевых отложениях (Речицкое и Осташковичское месторождения).

Таким образом, распределение залежей нефти, выявленных в Припятском прогибе, контролируется временем проявления наибольшей активизации разрывных нарушений. Это еще раз подтверждает представление о том, что формирование структурных форм, служивших ловушками для нефти и газа, происходило в результате тектонических движений по разломам. При размещении объемов поискового бурения на территории Припятского прогиба эта закономерность должна учитываться.

Разломы в основном не являлись путями для значительной вертикальной миграции нефти. Этому способствовало то, что одновременно с наибольшей активизацией разломов активно проявлялась и соляная тектоника. Соль и породы, перемежающиеся с ней, заполняли пустотное пространство, что создавало барьеры на пути движения нефти к поверхности Земли. Однако на территории Припятского прогиба нередки случаи почти полного уничтожения первичных нефтяных залежей, о чем свидетельствует наличие на ряде участков следов нефти в брекчии кепрока над соляными куполами при отсутствии залежей нефти в межсолевых и подсолевых отложениях.

Необходимо отметить, что такая генетическая связь активизации этапов развития субширотных разломов и нефтяных залежей, приуроченных к ним, наиболее полно установлена лишь для Северной зоны Припятского прогиба, которая в свете новых тектонических представлений совместно с Внутренним грабеном входит в состав Припятского палеорифта. В целом тектонические движения по разломам, происходившие в Северной зоне в мезокай-

нозойское время были незначительными и не привели к существенному перестроению структурных форм залежей и тем более к их уничтожению.

Что касается оценки перспектив в нефтеносности девонских подсолевых и межсолевых отложений центральной и южной зон, которые территориально входят в состав Внутреннего грабена Припятского палеорифта, мнение исследователей неоднозначно [5, 10,] даже с учетом того, что в северной погруженной части Залесско-Великоборской тектонической ступени в девонских подсолевых карбонатных отложениях были открыты соответственно Москвичевское и Котельниковское нефтяные месторождения. В пределах Московичского месторождения нефть приурочена к семилукскому, а Котельниковского – к воронежскому горизонтам, характеризуется «подвижностью» и по своим товарным качествам аналогична таковым, открытым в Северной зоне прогиба [5].

Нами выполнен анализ проявления наибольшей активизации субширотных структурообразующих разломов, к которым приурочены Москвичевское и Котельниковское месторождения Центральной зоны. Выполненные исследования показали, что полученные результаты укладываются в те же закономерности, характерные для Северной зоны, где, как известно, сосредоточены все ныне известные нефтяные месторождения Припятского прогиба. Так, Калининский разлом на Москвичевской площади при амплитуде около 350 м, наибольшей активизации достигает в ливенское время. Тектонические подвижки по разлому, проходившие в задонско-петриковское время, были существенными и носили убывающий характер. Аналогичная картина характерна и для Котельниковского месторождения с той лишь разницей, что максимальная амплитуда Омельковщинского разлома, ограничивающего месторождение с юга, значительно крупнее (около 1500 м) нежели Калининского.

В вышеупомянутых работах перспективы нефтегазоносности этих зон рассматриваются достаточно неоднозначно из-за того, что в их пределах за более чем 50-летнюю историю нефтепоисковых работ пробурено огромное количество глубоких скважин различного назначения, которые не привели к положительным результатам; перспективные девонские подсолевые отложения характеризуются чрезмерной тектонической раздробленностью, наличием большого количества малоамплитудных и согласных разломов, которые вряд ли могли бы локализовать залежи нефти, очень низкой катагенетической превращенности органического вещества (ОВ) в Центральном и южном НПР, значительно ниже, чем в Северном НПР.

Кроме того, в Центральном и Южном НПР, наряду вышеизложенными отрицательными факторами образования скоплений углеводородов (УВ) были крайне неблагоприятными и условия их сохранения. Об этом наглядно свидетельствуют интенсивные тектонические движения, происходившие в мезо-кайнозойское время, которые могли привести их к полному разрушению. В Северном НПР тектоническая обстановка в это время была довольно спокойной, на что указывает наличие унаследованных и постоянно уменьшающихся в амплитуде структур, которые не оказали заметного влияния на условия сохранения скоплений УВ.

Получение непромышленных притоков тяжелой нефти в девонских межсолевых отложениях на ряде площадей (Восточно-Выступовичская, Радомлянская, Каменская и др.) Внутреннего грабена и выявление большого числа перспективных объектов [10], связанных с ними, не позволяет оптимистично рассматривать вероятность открытия в этих образованиях существенных скоплений нефти. Объясняется это крайне неблагоприятными условиями нефтегазогенерации, образования и сохранения залежей углеводородов.

В то же время полностью закрывать перспективы нефтеносности Внутреннего грабена Припятского палеорифта, на наш взгляд, нельзя. Здесь, кроме вышеназванных – Москвичевского и Котельниковского нефтяных месторождений – в девонских подсолевых карбонатных отложениях ранее было открыто Комаровичское месторождение и зафиксированы непромышленные притоки нефти в скважинах Савичская 1, Западно-Бобровицкая 1, Южно-Валавская 35. Нам представляется, что нефтепоисковые работы к югу от Москвичевского, Котельниковского и Комаровичского месторождений могут быть продолжены при наличии объектов в девонских подсолевых отложениях им подобных как по размерам, глубине залегания целевых образований, так и разломов достаточно приличной амплитуды, ограничивающих их. При получении отрицательных результатов бурения поисковых скважин дальнейшее продолжение работ на нефть во Внутреннем грабене Припятского палеорифта нецелесообразно.

Таблица 1 – Геологические параметры, характеризующие подсолевые отложения в пределах нефтяных месторождений

№ п/п	Факторы, контроли- рующие формирование нефтяных месторожде- ний / Месторождения	Основные этапы развития структурообразующих разломов (амплитуды разломов за соответствующее время, в м), в скобках показано процентное соотношение амплитуд							Амплитуды разломов
		D ₃ ^{ev}	D ₃ ^{z d-пр}	D ₃ ^{l b-стр}	D ₃ ^{pl}	C	P - T	J - A n	
1	Озерщинское	434 (59)	236 (32)	12 (2)	7 (1)	–	10 (1)	36 (5)	735
2	Вост.Первомайское	434 (59)	236 (32)	12 (2)	7 (1)	–	10 (1)	36 (5)	735
3	Первомайское	96 (42)	114 (50)	7 (3)	6 (3)	–	–	4 (2)	227
4	Днепровское	400 (28)	150 (10)	730 (51)	25 (2)	100 (8)	15 (1)	5 (1)	1425
5	Ветжинское	970 (64)	–	50 (3)	–	200 (13)	–	–	1220
6	Речицкое	110 (4)	222 (8)	952 (35)	750 (28)	630 (23)	26 (0,8)	35 (1,2)	2725
7	Осташковское	100 (6)	260 (17)	650 (42)	256 (16)	287 (18)	–	17 (1)	1570
8	Сосновское	120 (10)	109 (9)	800 (67)	70 (6)	87 (7)	9 (1)	–	1191
9	Надвинское	434 (80)	–	100 (18)	7 (1)	3 (1)	–	–	544
10	Барсуковское	960 (37)	750 (29)	720 (27)	40 (1,5)	16 (0,5)	58 (2)	80 (3)	2624
11	Малодушинское	455 (25)	130 (7)	900 (50)	207 (10)	83 (6)	20 (1)	20 (1)	1815
12	Золотухинское	100 (1)	150 ()	450 (50)	350 (39)	18 ()	46 ()	–	1114
13	Тишковское	110 (4)	210 (8)	904 (36)	680 (27)	600 (23)	20 (1)	21 (1)	2545
14	Вишанское	270 (28)	270 (28)	400 (43)	–	–	40 (1)	–	980
15	Москвичевское	400 (94)	25 (6)	–	–	–	–	–	425
16	Давыдовское	50 (86)	100(17,2)	35 (60,2)	80 (14)	–	–	–	580
17	Котельниковское	1225(84)	225 (15)	–	–	–	–	–	1450

Особого внимания заслуживает промышленная нефтеносность верхнепротерозойских отложений, установленная на Тишковском и Речицком месторождениях. Так, на Тишковском месторождении при испытании вильчанской серии венда (верхний протерозой) в эксплуатационной колонне скважины 9053 получен приток нефти дебитом $158 \text{ м}^3/\text{сут}$ на 6 мм штуцере, что в определенной мере является сенсационной новостью для Припятского прогиба. В разрезе верхнего протерозоя Припятского прогиба нет толщ, которые могли бы рассматриваться как нефтематеринские, если придерживаться органической теории образования УВ.

В работе Веретенникова, Махнач и др. [3] впервые была высказана мысль о том, что промышленные скопления УВ в вильчанской серии венда, скорее всего, были сформированы за счет нефти девонских отложений, которые на определенном этапе тектонического развития прогиба гипсометрически оказались ниже верхнепротерозойских ловушек.

Можно сказать, что в настоящее время на территории Припятского прогиба однозначно выделяется третий, потенциально очень перспективный нефтеносный комплекс, заслуживающий серьезного изучения. Если эта версия формирования залежей УВ в верхнепротерозойских отложениях окажется приемлемой, то наиболее нефтеперспективными объектами в них окажутся площади, в пределах которых в подсолевом комплексе открыты многозалежные нефтяные месторождения Припятского прогиба. Такие площади должны разбуриваться до вскрытия кристаллического фундамента. С целью выяснения связи разрывных нарушений в формировании и распространении на территории Припятского прогиба залежей нефти в девонских подсолевых и межсолевых отложениях нами выполнен анализ основных этапов развития разломов, контролирующих пространственное положение 34 нефтяных месторождений, в основном, расположенных в Северной зоне. Как отмечалось выше, в анализе участвуют также два месторождения, открытые во Внутреннем грабене Припятского палеорифта.

Из анализа таблицы №1 видно, что те месторождения, которые содержат залежи только в девонских подсолевых отложениях, как правило, контролируются разломами амплитудой около 1000 или несколько более метров, которые своих максимальных значений достигают в процессе накопления ливенских отложений (около 60%). В задонско-петриковское время интенсивность тектонических движений по этим разломам остается довольно значительной. В абсолютном выражении они составляют порядка 200 м, а в процентном – 30-35%. К концу палеозоя и на протяжении всего мезо-кайнозоя тектонические движения по таким разрывным нарушениям были с незначительными амплитудами (первые десятки метров, около 3-5%).

Совершенно иная картина наблюдается вдоль крупноамплитудных региональных разломов, к которым приурочены залежи нефти в девонских подсолевых и межсолевых отложениях, общее количество которых нередко превышает шесть и более. Амплитуды их довольно значительны и нередко достигают 2700 и более метров. В процессе накопления отложений ливенского горизонта увеличение амплитуд таких разломов происходит в диапазоне 4-37% от общей амплитуды, оставаясь практически на том же уровне и в задонско-елецкое время. Максимум своей амплитуды эти разломы достигают в лебедянско-стрешинское время (около 35-60%), что связано со зрелой стадией рифтового этапа Припятского прогиба.

В полесское и каменноугольное время амплитуды тектонических движений по рассматриваемым разломам хотя и носили постепенно убывающий характер, тем не менее, равнялись 35% современных амплитуд, а на отдельных площадях (Речицкая) – даже 53%.

Крупноамплитудные региональные разломы, как и разрывные нарушения, контролирующие пространственное положение залежей УВ только в девонских подсолевых отложениях Северной зоны Припятского прогиба, начиная с пермского периода вплоть до антропогена включительно были весьма пассивными и не оказали влияния на разрушение залежей нефти. Поскольку одни и те же разломы предопределили процессы формирования залежей УВ как в подсолевых, так и межсолевых отложениях, то можно сделать вывод об общности их истории развития. Следует лишь отметить одно уникальное обстоятельство, нехарактерное для Припятского прогиба, которое вытекает из анализа таблицы № 2. Уникальность этого явления заключается в том, что Александровский разлом, к которому приурочена одноименная зона поднятий, в отличие от других разломов Припятского прогиба, 35 % своей амплитуды дости-

Таблица 2 – Геологические параметры, характеризующие межсолевые отложения в пределах нефтяных месторождений

№ п/п	Факторы, контролирующие формирование нефтяных месторождений / Месторождения	Основные этапы развития структурообразующих разломов (амплитуды разломов за соответствующее время, в м), в скобках показано процентное соотношение амплитуд						Амплитуды разломов
		D ₃ ^{zd-ptr}	D ₃ ^{lb-str}	D ₃ ^{pl}	C	P - T	J – A n	
1	Борщевское	260(35)	–	450(61)	–	9(1)	30(3)	749
2	Александровское	440(36)	–	750(62)	–	20(2)	–	1210
3	Ю-Александровское	440(36)	–	750(62)	–	20(2)	–	1210
4	Красносельское	220(8)	952(37)	750(29)	630(24)	26(1)	35(2)	2615
5	Западно-Тишковое	260(18)	700(45)	286(17)	298(19)	–	17(1)	1561
6	Осташковичское	260(18)	650(17)	256(19)	287(19)	–	17(1)	1470
7	Ю-Осташковичское	260(18)	650(17)	256(19)	287(19)	–	17(1)	1470
8	Золотухинское	150(15)	450(45)	350(34)	18(2)	46(4)	–	1014
9	Сосновское	109(10)	800(75)	70(6)	83(8)	9(1)	–	1071
10	Речицкое	222(38)	952(37)	750(29)	630(24)	25(1)	35(1)	2595
11	Вишанское	270(38)	400(56)	–	–	40(6)	–	710
12	Барсуковское	750(45,3)	720(43)	40(2,4)	18(1)	58(3,5)	80(4,8)	1666
13	Ю-Тишковое	210(9)	904(37)	680(28)	600(25)	20(0,5)	21(0,5)	2435
14	Тишковое	260(17)	700(46)	280(18)	272(18)	–	15(1)	1527
15	Ю-Сосновское	109(10)	800(75)	70(6)	83(8)	9(1)	–	1071
16	Ветхинское	–	50(20)	–	200(80)	–	–	250
17	Давыдовское	100(19)	350(66)	80(15)	–	–	–	530

гает в задонско-петриковское время. Этап его наибольшей активизации приходится на полесское время, когда он практически завершает свое развитие. В отличие от других разломов Припятского прогиба, этот разлом проникает в надсолевую часть разреза. Это обстоятельство явилось причиной частичного разрушения Александровского и Борщевского межсолевых месторождений, о чем свидетельствует отсутствие в них легких фракций УВ. Южно-Александровское межсолевое месторождение, наоборот, характеризуется закрытостью нефтяного резервуара, где условия его сохранения были довольно благоприятными, на что указывают высокие товарные качества вскрытой нефти.

Завершая рассмотрение роли разломов в формировании и распространении нефтяных месторождений Припятского прогиба, следует отметить их тесную генетическую связь. Разломы контролировали как процессы формирования, так и разрушения залежей УВ. Установлено, что региональные разломы, такие как Речицко-Вишанский и Червонослободско-Малодушинский, к которым приурочены наиболее крупные нефтяные месторождения Припятского прогиба, своих максимальных амплитуд достигли в стадии зрелого рифтогенеза. Причем характерно то, что размеры месторождений, количество залежей в них и, как следствие этого, запасы УВ в них напрямую зависят от основных этапов развития разломов и их амплитуд.

Учитывая вышеизложенное, можно сказать, что прежде чем ввести в бурение девонские подсолевые и межсолевые структуры Припятского прогиба, приуроченные к разломам, они должны быть проанализированы с тектонических позиций.

Авторы статьи отдают себе отчет, что наряду с тектоническими признаками имеется ряд факторов, которые оказывают то или иное влияние на формирование нефтяных залежей на территории Припятского прогиба. Однако роль тектонического фактора при этом неоспорима.

Литература

1. Айзберг, Р. Е. Тектоническое районирование поверхности кристаллического фундамента Припятского палеорифта / Р. Е. Айзберг, Р. Г. Гарецкий, С. В. Клушин и др. // Доклады АН БССР, 1988. – Т. 32. – №2. – С. 152–155.
2. Бескопыйный, В. Н. Об основном очаге нефтегазообразования в Припятском нефтегазоносном бассейне / В. Н. Бескопыйный // Изв. АН СССР. Серия геологическая, 1975. – № 10. – С. 169–172
3. Веретенников, Н. В. Верхний протерозой Припятского прогиба – один из наиболее перспективных нефтеносных комплексов и приоритетных объектов поисково-разведочных работ в Беларуси в 2000-2015 г. г. / Н. В. Веретенников, А. С. Махнач и др. // Стратегия развития нефтедобывающей промышленности республики Беларусь на 2000-2015 г. г. Гомель.: РУП ПО «Белоруснефть». 1999. – С. 66–76.
4. Гаврилов, В. П. Роль региональных разломов в формировании залежей нефти и газа / В. П. Гаврилов // Геология нефти и газа, 1976. – №1. – С. 31–37
5. Гарцев, А. Я. Основные результаты геолого-разведочных работ в РУП «ПО Белоруснефть» за 2002-2005 гг. и направления поисковых работ на перспективу / А. Я. Гарцев, А. К. Доброденев // В сб. «Эффективные пути поисков разведки залежей нефти Беларуси». Гм.: 2007. – С. 42–48.
6. Горелик, З. А. Классификация разрывных тектонических нарушений Припятской впадины по времени их наибольшей активизации / З. А. Горелик, А. Н. Брусенцов, Ф. Ш. Шаяхметов // Новые данные по геологии БССР. Мн.: БелНИГРИ, 1977. – С. 146–154.
7. Демидович, Л. А. Формирование коллекторов нефтеносных комплексов Припятского прогиба / Л. А. Демидович, Мн.: Наука и техника, 1979. – С. 101–130.
8. Кононов, А. И. Комплексная оценка роли разрывных нарушений в формировании нефтяных залежей Припятского прогиба / А. И. Кононов // Направления нефтепоисковых и разведочных работ в Припятском прогибе. Мн.: БелНИГРИ, 1977. – С. 118–130.

9. Лавров, А. П. Гидрогеологические условия и показатели нефтегазоносности Припятского прогиба / А. П. Лавров, Л. И. Шаповал и др. // Вопросы нефтяной геологии и геофизики, Мн.: БелНИГРИ, 1973. – С. 72–102.

10. Познякевич, З. Л. Оценка возможности выявления залежей нефти в межсолевом комплексе внутреннего грабена Припятского прогиба / З. Л. Познякевич, И. А. Слободянюк, Р. Е. Айзберг и др. // Проблемы освоения ресурсов нефти и газа Беларуси и пути их решения. Гм.: РУП «ПО Белоруснефть», 2003. С. 108-122

11. Рынский, М. А. Формирование нефтяных месторождений в Припятском прогибе / М. А. Рынский // Вопросы нефтяной геологии и геофизики БССР, Мн.: БелНИГРИ, 1973. С. 156-165

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 17.06.10

Содержание

МАТЕМАТИКА

Атвиновский А. А. <i>Об интегральном представлении одного класса аналитических функций</i>	3
Дашкова О. Ю. <i>Модули над групповыми кольцами локально разрешимых групп с условием min-pnd</i>	8
Жучок А. В. <i>Группа автоморфизмов свободного произведения π-регулярных полугрупп</i>	14
Быховцев В. Е., Бондарева В. В. <i>Приближённый аналитический метод расчёта осадки фундаментной плиты на реологическом нелинейно-деформируемом грунтовым основании</i>	20
Васильев В. А. <i>Конечные группы с m-добавляемыми максимальными подгруппами силовских подгрупп</i>	29
Косенок Н. С. <i>Функторная характеристика конечных разрешимых групп</i>	38
Близнец И. В., Скиба А. Н. <i>Разложимые n-кратно ω-композиционные формации</i>	45
Жизневский П. А., Сафонов В. Г. <i>О c_ω-неприводимых формациях $\mathfrak{S}_\omega$-дефекта 2</i>	49
Коржик Р. И. <i>Влияние запаздывания в звене дуффинга на стационарные состояния неавтономного осциллятора Ван дер Поля-Дуффинга</i>	55
Осипенко Н. Б., Осипенко А. Н., Васенда М. Н., Жогаль С. П., Жогаль С. И. <i>Пример применения метода корреляционно-регрессионного анализа в производственной проблеме</i>	59

ФИЗИКА

Сидский В. В., Семченко А. В., Гайшун В. Е., Сорока С. А., Сидерко А. А., Судник Л. В. <i>Структурные свойства SBT-слоев, синтезированных золь-гель методом</i>	65
Андреев В. В. <i>Квантовая механика в импульсном пространстве: вычисление матричных элементов с логарифмической сингулярностью</i>	69
Вакулина Е. В., Дерюжкова О. М., Максименко Н. В. <i>Низкоэнергетические электромагнитные характеристики пиона в кварково-полевой модели</i>	78
Андреев В. В., Сейтглиев А. М. <i>Квазистатические динамические поляризуемости спиновой частицы в КЭД</i>	90

БИОЛОГИЯ

Багинский В. Ф., Бурак Ф. Ф. <i>Состояние, Проблемы и задачи белорусского лесостроительства на современном этапе</i>	100
Бачура Ю. М., Храмченкова О. М. <i>Использование методов почвенных и агаровых культур при изучении почвенных водорослей</i>	107
Дроздова Н. И., Мельник Т. Ю., Свириденко В. Г., Хаданович А. В. <i>Влияние тяжелых металлов на состояние почвенного покрова промышленных зон г. Гомеля</i>	114
Авдеев П. А., Корноушенко Ю. В., Л. А. Евтухова, Игнатенко В. А. <i>Влияние этилового спирта на связывание левотиноксина натрия сывороточным альбумином</i>	120
Ефименко В. М., Лазарева М. С., Климович Л. К. <i>Интенсивность роста дубовой компоненты в смешанных насаждениях</i>	124
Жадько С. В. <i>Декоративные растения г. Гомеля</i>	129
Колодий П. В., Лазарева М. С., Колодий Т. А. <i>Технологические особенности рубок ухода в смешанных дубовых молодняках</i>	134
Кураченко И. В., Юрченко И. С., Лысенко А. Н. <i>Выявление степени зараженности промежуточных хозяев возбудителями описторхоза на территории ПГРЭЗ</i>	141
Макаренко Т. В. <i>Загрязнение воды водоемов Гомеля и прилегающих территорий тяжелыми металлами</i>	147
Медведева Г. А. <i>Влияние интенсивных физических нагрузок на показатели биологического возраста</i>	154
Аль Меселмани М. А. <i>Воздействие инкорпорации ^{137}Cs на энергетические функции митохондрий семенников у крыс</i>	161

Падутов А. Е., Блинова Н. С., Усанова Е. Н., Мальцева Н. В. <i>Феромонная регуляция плодовитости самок непарного шелкопряда (<i>Lymantria Dispar</i> L.)</i>	167
Руденков Н. С., Ковалев А. В., Дроздов Д. Н. <i>Суточная динамика артериального давления и ее связь с функциональной активностью шишковидной железы</i>	174
Саварин А. А. <i>Об обитании <i>Sylvaemus uralensis</i> (Pallas, 1811) на юго-востоке Беларуси и проблеме ее видовой диагностики</i>	179
Сапегин Л. М., Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Булохов А. Д., Борздыко Е. В., Сквородникова Н. А. <i>Анализ накопления радионуклидов растениями природных экосистем Чечерского района Гомельской области и Новозыбского, Гордеевского районов Брянской области</i>	186
Шумилин В. А., Собченко В. А. <i>Формирование и сорбционные свойства препаратов бинарных ферроцианидов железа и меди на угольной матрице</i>	195
Потапов Д. В., Гончаренко Г. Г. <i>Видовая структура сообществ рыб реки Сож и ее притоков</i>	200
ГЕОЛОГИЯ	
Пинчук А. П., Шаяхметов Ф. Ш. <i>Особенности формирования девонских подсолевых и межсолевых нефтяных месторождений Припятского прогиба</i>	207

Contents

MATHEMATICS

A. A. Atvinovskii. <i>About integral representation of an analytical function class</i>	3
O. U. Dashkova. <i>Modules above group rings of locally solvable groups with condition min-nnd.</i>	8
A. V. Zhuchok. <i>The group of automorphisms of π-regular semigroups free product</i>	14
V. E. Byikhovtsev, V. V. Bondareva. <i>Approximate analytical method for calculating the precipitation of the foundation plate on nonlinear deformable subgrade</i>	20
V. A. Vasiliev. <i>Finite groups with m-appended maximal subgroups of Sylow subgroups</i>	29
N. S. Kosenok. <i>Functor characterization of finite soluble groups</i>	38
I. V. Bliznets, A. N. Skiba. <i>Decomposable n-multiply ω-composition formations</i>	45
P. A. Zhiznevsky, V. G. Safonov. <i>On c_ω-irreducible formations with $\mathfrak{S}_\omega$-defect 2</i>	49
R. I. Korzhik. <i>Influence of delay in Duffing link on van der Pol-Duffing non-autonomous oscillator stationary states</i>	55
N. B. Osipenko, A. N. Osipenko, M. N. Vasenda, S. P. Zhogal, S. I. Zhogal. <i>Applying the method of correlation and regression analysis in a production problem</i>	59

PHYSICS

V. V. Sidskii, A. V. Semchenko, V. E. Gaishun, S. A. Soroka, A. A. Siderko, L. V. Sudnik. <i>Structural properties of SBT-films synthesized by sol-gel method</i>	65
V. V. Andreev. <i>Quantum mechanics in momentum space: calculation of matrix elements with logarithmic singularity</i>	69
E. V. Vakulina, O. M. Deruzhkova, N. V. Maksimenko. <i>Low-energy electromagnetic characteristics of peony in quark field model</i>	78
V. V. Andreev, A. M. Seiltiev. <i>Quasistatic dynamic polarizability of spinor particles in QED</i>	90

BIOLOGY

V. F. Baginskii, F. F. Burak. <i>Condition, problems and objects of Belarusian forestry at present stage</i>	100
U. M. Bachura, O. M. Khranchenkova. <i>Use of soil and agar crops for studying soil algae</i>	107
N. I. Drozdova, T. U. Melnik, V. G. Sviridenko, A. V. Khadanovich. <i>Influence of heavy metals on soil cover of Gomel industrial zones</i>	114
P. A. Avdeev, U. V. Kornoushenko, L. A. Evtukhova, V. A. Ignatenko. <i>Influence of ethyl spirit on linkage of sodium levothyroxine by serum albumin</i>	120
V. M. Efimenko, M. S. Lazareva, L. K. Klimovich. <i>Oak component growth intensity in mixed plantations</i>	124
S. V. Zhadko. <i>Decorative plants in Gomel</i>	129
P. V. Kolodii, M. S. Lazareva, T. A. Kolodii. <i>Technological features of improvement felling in mixed oak young growths</i>	134
I. V. Kurachenko, I. S. Yurchenko, A. N. Lisenko. <i>Revealing contamination rate of intermediate owners by opisthorchiasis causative agents in PSRER reservoirs</i>	141
T. V. Makarenko. <i>Water pollution of Gomel reservoirs and adjoining territories with heavy metals</i>	147
G. A. Medvedeva. <i>Influence of intensive physical activities on biological age indicators</i>	154
M. A. Al Meselmani. <i>^{137}Cs incorporation influence on rats' testis mitochondria power functions</i>	161
A. E. Padutov, N. S. Blinova, E. N. Usanova, N. V. Maltseva. <i>Fertility pheromone regulation of female gipsy moth (<i>LymantriaDispar</i> L.)</i>	167
N. S. Rudenkov, A. V. Kovalev, D. N. Drozdov. <i>Blood pressure daily dynamics and its connection with pineal gland functional activity</i>	174
A. A. Savarin. <i>About <i>Sylvaemus uralensis</i> (Pallas, 1811) environment in the southeast of Belarus and the problem of its specific diagnostics</i>	179
L. M. Sapegin, N. M. Daineko, S. F. Timofeev, A. D. Bulokhov, E. V. Borzdyiko, N. A. Skovorodnikova. <i>The analysis of radionuclide accumulation by plants of natural ecosystems of Chechersk district Gomel region and Novozybkov, Gordeev districts Bryansk region</i>	186
V. A. Shumilin, V. A. Sobchenko. <i>Formation and sorbing properties of ferric and copper binary ferrocyanide materials on coal matrix</i>	195
D. V. Potapov, G. G. Goncharenko. <i>The species structure of fishes communities of the river Sozh and its tributaries</i>	200

GEOLOGY

A. P. Pinchuk, F. Sh. Shaiakhmetov. <i>Devonian subsalt and intersalt oil field formation peculiarities in Pripyat trough</i>	207
---	-----

