

Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь
Установа адукацыі «Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт
імя А.С. Пушкіна»

Вучоныя запіскі

*Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта
імя А.С. Пушкіна*

Зборнік навуковых прац

Выпуск 5

*Частка 2
Прыродазнаўчыя навукі*

Брэст • 2009

Заснаваны ў 2005 годзе

У адпаведнасці з загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі зборнік навуковых прац «Вучоныя запіскі Брэсцкага ўніверсітэта» ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў па біялагічных, геаграфічных, геалага-мінералагічных, гістарычных, педагагічных, псіхалагічных, філалагічных навуках

Галоўны рэдактар

М.Э. Часноўскі

Намеснікі галоўнага рэдактара:

А.А. Гарбацкі, А.М. Сендзер (*гуманітарныя і грамадскія навукі*)

К.К. Красоўскі, У.А. Плещохоў (*прыродазнаўчыя навукі*)

Рэдакцыйны савет:

А.А. Высоцкі, Л.Г. Лысюк, Б.М. Ляпешка, В.Е. Гайдук, А.Ф. Равінскі, М.П. Ярчак

Міжнародны савет:

В.Р. Бязрогаў (Расія), Я.А. Грэбенікаў (Расія), А.М. Круглашоў (Украіна), В.А. Несцяроўскі (Украіна),

Ежы Нікітаровіч (Польшча), Марк Пілкінгтон (Францыя), А. Юўка (Польшча)

Рэдакцыйная калегія:

Г.І. Займіст (*адказны рэдактар па гуманітарных і грамадскіх навуках*),

Н.С. Ступень (*адказны рэдактар па прыродазнаўчых навуках*),

У.В. Амелькін, С.В. Арцёменка, М.А. Багдасараў, В.Ф. Байнёў, А.В. Брэскі, В.М. Ватыль, А.М. Вітчанка,

А.Л. Гулевіч, М.А. Дабрынін, М.П. Жыгар, Г.А. Зорын, М.С. Кавалевіч, Т.А. Кавальчук, Ч.С. Кірвель,

У.У. Лосеў, М.І. Ляўчук, У.Ф. Мартынаў, А.А. Махнач, А.В. Мацвееў, З.П. Мельнікава, М.І. Мішчанчук,

Я.М. Мясэчка, А.В. Пятроўская, Я.В. Радына, Ст.Р. Рачэўскі, С.В. Рашэтнікаў, Д.Г. Ротман, Б.В. Саліхаў,

У.В. Салтанаў, В.Ф. Саўчук, У.С. Секарыжыцкі, У.А. Сенькавец, Я.У. Скакун, А.С. Сляповіч, А.І. Смолік,

В.А. Сцепановіч, В.І. Сянкевіч, М.М. Труш, У.М. Хоміч, А.В. Чарнавалаў, А.В. Чычурын,

Л.В. Шукевіч, Т.І. Якавук, Я.К. Ялавічава, Я.С. Яскевіч

Адрас рэдакцыі:

224665, г.Брэст, бульвар Касманаўтаў, 21

тэл.: 21-47-63

e-mail vesnik@brsu.brest.by

ISBN 978-985-473-495-8 (ч. 2)

ISBN 978-985-473-493-4

© УА «БрДУ імя А.С.Пушкіна», 2009

Ministry of education of Republic of Belarus
Educational establishment «Brest state university
named after A.S. Pushkin»

Scientific Proceeding

*Of Brest state university named
after A.S. Pushkin*

Collection of scientific works

Issue 5

*Part 2
Natural Sciences*

Brest • 2009

Founded 2005

According to the orders of Supreme certification commission the collection of scientific works « Scientific Proceeding of Brest state University» has been included to the List of editions of the Republic of Belarus for publication of the results of scientific research in biological, geographical, geology-mineralogical, historical, pedagogical, psychological, philological sciences

Editor-in-chief

M.E. Chasnoyski

Editor-in-chief Deputies

A.A. Garbatski, A.N. Sender (*the humanities and social sciences*)

K.K. Krasovski, V.A. Pletsyuhov (*natural sciences*)

Editorial council:

O.A. Vysotski, L.G. Lysyuk, B.M. Lyapeshko, V.E. Gaiduk, A.F. Ravinski, N.P. Yarchak

International council:

V.G. Bezrogov (Russia), E.A. Grebenikov (Russia), A.N. Kruglashov (Ukraine), V.A. Nesterovski (Ukraine), Ezhny Nikitarovich (Poland), Mark Pilkington (France), A. Yuvka (Poland)

Editorial board:

G.I. Zaimist (*the humanities and social sciences managerial editor*),

N.S. Stupen (*natural sciences managerial editor*),

V.V. Amelkin, S.V. Artyemenko, M.A. Bagdasarov, V.F. Bainev, O.V. Breski, V.N. Vatyl, A.N. Vitchenko, A.L. Gulevich, M.A. Dobrinin, M.P. Zygar, G.A. Zoryn, M.S. Kovalevich, T.A. Kovalchuk, C.S. Kirvel, V.V. Losev, M.I. Levchuk, Y.F. Martynov, A.A. Makhnach, A.V. Matveev, Z.P. Melnikova, M.I. Mishchenchuk, E.N. Meshechko, O.V. Petrovskaya, Y.V. Radyno, S.G. Rachevski, S.V. Reshetnikov, D.G. Rotman, B.V. Salikhov, V.V. Saltanov, V.F. Savchuk, V.S. Sekerzhitski, V.A. Senkovets, E.V. Skakun, E.S. Slepovich, A.I. Smolik, V.A. Stepanovich, V.I. Senkevich, N.N. Trush, V.M. Homich, A.V. Chernovalov, A.V. Chichurin, L.V. Shukevich, T.I. Yakovuk, Y.K. Yalovicheva, Y.S. Yaskevich

Publishing house address:

224665, Brest, Bulvar Kosmonavtov, 21

tel.: 21-47-63

e-mail vesnik@brsu.brest.by

ISBN 978-985-473-495-8 (p. 2)

ISBN 978-985-473-493-4

© EE «BrSU named after A.S. Pushkin», 2009



ЗМЕСТ

МАТЭМАТЫКА

- Мадорский В.М.** О нахождении приближённого решения жёстких нелинейных краевых дифференциальных задач 7
- Савчук В.Ф., Матысык О.В.** Об одном методе итераций с переменным шагом решения некорректных задач в гильбертовом пространстве 17

ФІЗІКА

- Костко В.С., Плетюхов В.А.** Необходимость и перспективы развития ядерной энергетики в Беларуси 29

БІЯЛОГІЯ

- Абрамова И.В., Гайдук В.Е.** Экология белого аиста *CICONIA CICONIA L.* (*CICONIIDAE, CICONIIFORMES*) в юго-западной Беларуси 39
- Зеркаль С.В., Бондарь Ю.В.** К вопросу о интродукции некоторых видов рода *Rhododendron L.* в условиях юго-запада Беларуси 46
- Зеркаль С.В., Волосяк С.Н., Колбас А.П.** Сравнительный анализ анатомического строения листа тисса ягодного (*Taxus baccata Lindl.*) и псевдотсуги тиссолистной (*Pseudotsuga taxifolia Lindl.*) при различной степени освещённости 57
- Саваневский Н.К., Хомич Г.Е., Левыкина Л.А.** Постуральные реакции периферических кровеносных сосудов у девушек, долго проживавших в районах радионуклидного загрязнения 70
- Шик А.С.** Инкрустация семян физиологически активными веществами как способ снижения последствия гербицида ларен на люпин узколистый 81

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

- Артёмченко С.В.** Пограничье как объект исследования в социально-экономической Географии 91
- Волчек А.А., Шпока И.Н., Шешко Н.Н.** Повторяемость метелей на территории Беларуси 99
- Матвеев А.В., Бордон В.Е., Нечипоренко Л.А.** Техногенное загрязнение покровных отложений вдоль автомобильных дорог на территории Беларуси 110
- Махнач Н.А.** Литогенетические результаты взаимодействия «вода – карбонатные минералы» в четвертичной толще Беларуси (палеогеографические, хроностратиграфические, геоэкологические и практические аспекты исследования) 118
- Мешечко Е.Н., Никитюк Д.В.** Развитие туристско-экскурсионной деятельности на территории Брестской области в 20-30 гг. XX века 129
- Михальчук Н.В., Мороз В.А.** Структура растительного покрова депрессионно-карбонатно-островных мезокомплексов 145
- Токарчук С.М., Токарчук О.В.** Опыт создания гидроэкологической геоинформационной системы речного бассейна (на примере трансграничной части бассейна реки Западный Буг) 157

- Звесткі аб аўтарах 166

Scientific Proceeding



EE «Brest state university named after A.S. Pushkin»

COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS

2009 • Issue 5 • Part 2

INDEX

MATHEMATIS

- Madorski V.M.** About Finding Approximate Solution of Hard Nonlinear Boundary Differential Problems7
- Savchuk V.F., Matsyik O.V.** About the Iteration Method with Variable Step for Solution of the Incorrect Problems in the Hilbert Space17

PHYSIS

- Kostko V.S., Pletyukhov V.A.** Necessity and Perspectives of the Development of Nuclear Energy in Belarus.....29

BIOLOGY

- Abramova I.V., Gaiduk V.E.** The Ecology of White Stork *CICONIA CICONIA L.* (*CICONIIDAE, CICONIIFORMES*) in the South-West of Belarus39
- Zerkal S.V., Bondar Y.V.** To the Question of Introduction of Some Kinds of *Rhododendron L.* in the Conditions of the South-West of Belarus.....46
- Zerkal S.V., Volosiuk S.N., Kolbas A.P.** The Comparative Analysis of Anatomical Structure of a Leaf of a (*Taxus baccata Lindl.*) and (*Pseudotsuga taxifolia Lindl.*) of Different Degrees of Illumination.....57
- Savanevski N.K., Khomich G.E., Levikina L.A.** Posturalnye Reactions of Peripheral Blood Vessels for Girls, Long Living in the Districts of Radionuclide Contamination.....70
- Shyk A.S.** Incrustation of Seeds Physiologically Active Substances as the Way of Decrease Aftereffect Herbicide Laren on *Lupinus Angustifolius*.....81

SCIENES ON EARTH

- Artiomienko S.V.** Frontier as an Object of Investigation of the Social and Economic Geography91
- Volchek A.A., Shpoka I.N., Sheshko N.N.** Repeatability of Blizzards in Territory of Belarus.....99
- Matveyev A.V., Bordon V.E., Nechiporenko L.A.** Technogenic Contamination of Cover Deposits Along Automobile Roads in Belarus110
- Makhnach N.A.** Lithogenetic Results of the «Water-Carbonate Minerals» Interaction in Quaternary Deposits in Belarus (Palaeogeographic, Chronostratigraphic, Geoenvironmental and Practical Implications of the Investigation)118
- Meshechko E., Nikityk D.** The Development of Tourist and Excursion Activity on the Territory of Brest Region in the20–30s' of XX Centuries129
- Mikhailchuk N.V., Moroz V.A.** Structure of the Vegetative Mantle of Depression-Carbonate-Island Mesocomplexes145
- Tokarchuk O.V., Tokarchuk S.M.** Experience of Creation of Hydroecological Geoinformation System of River Basin (on the Example of Transboundary Part the Basin of River Western Bug)157

- Information about the authors166



УДК 517.948

В.М. Мадорский

О НАХОЖДЕНИИ ПРИБЛИЖЁННОГО РЕШЕНИЯ ЖЁСТКИХ НЕЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Для нахождения приближенного решения жёстких краевых дифференциальных нелинейных задач используется баллистический метод, для реализации которого в статье предложен высокоточный модуль решения жёсткой нелинейной задачи Коши, а для решения уравнения шивания – эффективные сверхлинейные трёхшаговые методы, сходящиеся к решению с «плохого» начального приближения.

Вопросом нахождения приближённого решения жёстких нелинейных начальных дифференциальных задач посвящена обширная литература (смотри, например, монографию [1] и приведённую там библиографию).

Количество работ, связанных с жёсткими нелинейными начальными задачами, в последние 20 лет неуклонно возрастает. Это связано с тем, что большое количество практически важных научно-технических и экономических проблем описываются моделями, представляющимися жёсткими нелинейными начальными дифференциальными задачами. При нахождении приближённых решений жёстких нелинейных начальных дифференциальных задач в настоящее время достигнуты впечатляющие достижения, однако решение этой проблемы далеко от завершения. Например, качество полученного приближённого решения на промежутке интегрирования находится в промежутке ($1E - 4; 1E - 6$) по норме невязки в зависимости от степени жёсткости задачи; о качестве полученного приближённого решения судят чаще всего, используя принцип Рунге (который, вообще говоря, не даёт универсальный ответ о качестве приближённого решения). Кроме всего вышесказанного, получение приближённого решения в точках, не являющихся точками сетки, с помощью так называемой «плотной выдачи» [1], не даёт ответа на вопрос о качестве полученной аппроксимации истинного решения задачи в этих точках.

Резюмируя всё сказанное выше, можно отметить, что, во-первых, неудовлетворительно решён вопрос, связанный с оценкой качества полученного приближённого решения, и, во-вторых, остаётся открытым вопрос об эффективной аппроксимации полученного сеточного решения. В действительности эти две проблемы взаимосвязаны: для получения интегральной невязки на всём промежутке интегрирования необходимо иметь достаточное количество точек, в которых известно высокоточно приближённое решение (желательно, чтобы сетка точек была равномерной). А для того чтобы получить высокоточное приближённое решение в такой системе точек, желательно иметь «хороший» аппроксимационный полином, обладающий сглаживающими свойствами. На роль такого полинома, естественно, претендует отрезок ряда Фурье по системе ортогональных полиномов. С учётом поведения вычислительной погрешности (погрешности округления) мы используем полиномы Чебышева первого рода с весом, для построения которого необходимо знать приближённое решение задачи в точках, являющихся корнями полинома Чебышева.

Всё сказанное выше позволяет сформулировать, по крайней мере две, стратегии: первая стратегия состоит в том, что в процессе интегрирования начальной дифференциальной задачи мы разбиваем отрезок интегрирования на части (подотрезки) корнями полиномов Чебышева. Вопрос о способах разбиения отрезка интегрирования на подот-



резки мы обсудим подробнее ниже, заметим лишь, что величина и количество подотрезков, получаемых в процессе интегрирования жёсткой начальной задачи, зависит от нескольких факторов: $Atol$ и $Rtol$ (величины абсолютной и относительной погрешности), величины минимальной шаговой длины h_{min} и минимальной длины подотрезка разбиения Δ_{min} , ε_{min} – достигнутый порядок погрешности восстановления.

При $Atol = Rtol = 1E - 11 \div 1E - 13$,

$$h_{min} = 1E - 9 \div 1E - 11,$$

$$\Delta_{min} = 1E - 7 \div 1E - 9$$

и $\varepsilon_{min} = 1E - 8 \div 1E - 9$ полученные приближённые решения жёстких начальных дифференциальных задач правильно передают особенности и структуру решения, что будет показано при обсуждении численных экспериментов. Далее на каждом из полученных подотрезков находим значения приближённого решения в N равноотстоящих точках ($N = 50 \div 200$), решая N задач Коши, где в качестве начальных значений берутся значения в уже вычисленных ближайших точках (слева или справа от равноотстоящей точки, в которой идёт поиск решения). Несмотря на сравнительно большое число решаемых на подотрезке задач Коши для нахождения приближённого решения в системе равноотстоящих точек, использование так называемого «пульсирующего» шага и малая величина отрезка интегрирования позволяют достаточно быстро справиться с поставленной задачей. Полученные приближённые решения в системе равноотстоящих точек используем для нахождения приближённого значения интегральной невязки (методом трапеции, средних прямоугольников или методом Симпсона (методом парабол)) на каждом из подотрезков с дальнейшей статистической обработкой, позволяющей судить об интегральной невязке на всём промежутке интегрирования начальной дифференциальной задачи. Для нахождения промежуточных значений решения в точках, отличных от найденных N точек на каждом из подотрезков, строим сплайн 3 или 5 степени.

Другая стратегия состоит в том, что после решения задачи Коши на всём отрезке интегрирования $[x_0, x_{out}]$ и разбиения $[x_0, x_{out}]$ на подотрезки, на каждом i -том подотрезке выбираем полином Чебышева I рода степени N_i , находим значения приближённого решения в N_i узлах-корнях полинома Чебышева I рода, решая N_i задач Коши, где в качестве начального берётся значение приближённого решения в левой или правой точке, вычисленного ранее приближённого решения. Далее восстанавливаем на каждом из подотрезков свой аппроксимационный полином Чебышева степени N_i . Система аппроксимационных полиномов, полученная таким способом, даёт не только возможность получить оценку интегральной погрешности, но и использовать эти полиномы для нахождения промежуточных приближённых решений в точках, отличных от корней полинома Чебышева I рода степени N_i на каждом из i -х подотрезков.

Возможна и гибридная стратегия, состоящая в том, что после нахождения значений приближённого решения в корнях полинома Чебышева для нахождения интегральной невязки используется квадратурная формула по системе неравноотстоящих точек, а лишь затем строится аппроксимационный полином Чебышева I рода, который в дальнейшем используется для «плотной» выдачи результатов.

Обсудим преимущества и недостатки рассмотренных выше стратегий.



В результате реализации первой стратегии нам приходится на каждом из i подотрезков решать N_i задач Коши, чтобы получить значение приближённого решения в системе равноотстоящих точек для получения интегральной невязки. Далее для получения приближённого решения в аналитическом виде используется сплайн-аппроксимация, которая, как известно, не обладает сглаживающими свойствами.

По второй стратегии объём вычислений на каждом из i подотрезков для нахождения приближённого решения начальной задачи в корнях полинома Чебышева первого рода, как правило, больший, но восстановленный аппроксимационный полином обладает сглаживающими свойствами, что позволит в дальнейшем находить с высокой точностью значения приближённого решения в точках, отличных от корней полинома Чебышева.

При гибридном варианте мы можем аппроксимационный полином использовать в качестве аналитического вида приближённого решения для подстановки в дифференциальную форму невязки. В дальнейшем этот же полином мы можем использовать для получения приближённого решения в точках, отличных от корней полинома Чебышева.

1. О методе стрельбы для краевых задач

Рассматривается система обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dy_i}{dx} = f_i(x, y_1, y_2, \dots, y_s), \quad i = \overline{1, s} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} y_i(a) &= A_i, \quad i = \overline{1, k}, \quad x \in [a; b], \\ y_j(b) &= B_j, \quad j = \overline{k+1, s}, \quad 0 < k < s. \end{aligned} \quad (2)$$

Для того чтобы можно было решать задачу (1), (2), попытаемся оценить $(s-k)$ неизвестных параметров $y_j(a) = p_j$, $j = \overline{k+1, s}$ и k параметров $y_i(b) = p_i$, $i = \overline{1, k}$, которых нам недостает, чтобы интегрировать систему (1) как «вперед» (от $x = a$ до $x = b$), так и «назад» (от $x = b$ до $x = a$).

При интегрировании «вперед» используем $y_i(a) = A_i$, $i = \overline{1, k}$ и недостающие до s параметры $y_j(a) = p_j$, $j = \overline{k+1, s}$; при интегрировании «назад» используем $y_j(b) = B_j$, $j = \overline{k+1, s}$ и недостающие до s параметры $y_i(b) = p_i$, $i = \overline{1, k}$. При интегрировании «вперед» получаем решение $y_a(x, p)$ – функцию от параметров p_{k+1}, \dots, p_s ; при интегрировании «назад» получаем решение $y_b(x, p)$ – функцию от параметров p_1, \dots, p_k .

Оба решения вычисляются до некоторой точки сшивания $x = c$ на отрезке $[a; b]$. Таким образом, для определения неизвестных параметров p_1, \dots, p_s необходимо решить уравнение

$$f(p) \equiv y_a(c, p) - y_b(c, p) = 0. \quad (3)$$

Уравнения сшивания (3) представляют систему s нелинейных численных уравнений относительно неизвестных параметров p_1, \dots, p_s .



Если в качестве точки сшивания c выбрана точка a , где заданы $k \leq s/2$ условий $A_i, i = \overline{1, k}$, тогда требуется найти оценки значений всего лишь k параметров в точке $x = b$, провести интегрирование «назад» и согласовать первые k компонент вектор-функции $y_b(x, p)$ с заданными в точке a граничными условиями. Для такого согласования необходимо решить систему k нелинейных уравнений с k неизвестными. В случае если число граничных условий на правом конце меньше числа граничных условий на левом конце, проводим интегрирование «вперед» с начальными условиями $y_i(a) = A_i, i = \overline{1, k}, y_j(b) = B_j, j = k + 1, s$ и согласовываем последние $(s-k)$ компонент вектор-функций $y_a(x, p)$ с заданными в точке b граничными условиями. Для такого согласования необходимо решить систему $(s-k)$ нелинейных уравнений с $(s-k)$ неизвестными. В более общем случае точку сшивания c помещают в середину отрезка интегрирования для того, чтобы по возможности минимизировать влияние неустойчивости при численном интегрировании задачи Коши.

Для эффективной реализации описанных выше подходов решения жёстких краевых задач методом стрельбы нам необходимо иметь надёжный и высокоточный модуль решения жёсткой начальной нелинейной дифференциальной задачи и эффективный сверхлинейный итерационный процесс, который «работает» с «плохого» начального приближения.

II. О методах построения высокоточного модуля решения жёсткой нелинейной дифференциальной задачи

Для решения жёсткой начальной дифференциальной задачи на отрезке $[a; b]$, $a < b$, зададим минимальный и максимальный шаг h_{\min} и h_{\max} , относительную и абсолютную погрешность решения $Rtol$ и $Atol$ (порядка $1E-10 \div 1E-14$); начальная величина шага задается как $h_0 = \sqrt{h_{\min} \cdot h_{\max}}$ либо $h_0 = C \cdot h_{\min}, C > 1$. Пусть $x_0 = a$.

Шаг 1. В качестве исходного отрезка для решения выберем отрезок $[x_0; x_0 + h_0]$.

Решаем задачу Коши на этом отрезке неявным s -стадийным методом Рунге-Куты ($s = 6 \div 8$) с шагом h_0 и шагом $h_0/2$.

Шаг 2. Вычисляем погрешность по Ричардсону: $\Delta(y) = \left| \frac{y_{h_0/2} - y_{h_0}}{1 - (0,5)^p} \right|$, где y_{h_0} –

решение, полученное в точке $x_0 + h_0$ с шагом h_0 , $y_{h_0/2}$ – решение, полученное в точке $x_0 + h_0$ с шагом $h_0/2$, p – порядок метода ($s = 2p$).

Шаг 3. Вычисляется функция



$$Err = \frac{\Delta(y)}{\left| y_{h_0/2} \right| Rtol + Atol}$$

и производится сравнение Err с заданной точностью решения задачи Eps . Если $Err \leq Eps$, то осуществляем переход на следующий шаг, иначе $h_0 := h_0/2$, и возвращаемся на шаг 1.

Шаг 4. В качестве нового отрезка для решения задачи Коши выбираем отрезок $[x_i; x_i + h_i]$, где за x_i берем правый конец предыдущего отрезка, за h_i берем h_0 .

Алгоритм шаг 1 – шаг 4 продолжаем до тех пор, пока не будет достигнут конец промежутка интегрирования дифференциальной задачи.

Рассмотрим другой алгоритм выбора шага интегрирования. Начальная величина шага $h_0 = h_{\max}$, $x_0 = a$.

Шаг 1. Вычисляется погрешность по Ричардсону $\Delta(y) = \frac{|y_{h/2} - y_h|}{(1 - (0,5)^p)}$,

где y_h и $y_{h/2}$ – решения, полученные в точке $x + h$ с шагом h и $h/2$ соответственно, p – порядок метода.

Шаг 2. Вычисляется локальная нормированная относительная ошибка по формуле

$$\delta(y_h) = \frac{\Delta(y)}{Rtol \cdot |y_h| + Atol}$$

Шаг 3. Если $\delta(y_h) > 1$, то $h := h/2$ и возвращаемся на шаг 1, пока $h \geq h_{\min}$. Если $\delta(y_h) < 1$, то принимаем в качестве шага h , в качестве приближенного решения принимаем y_h . Увеличиваем шаг, взяв $h := 2h$, и осуществляем переход на шаг 4.

Шаг 4. Если достигнут конец промежутка интегрирования, то выход из просчетов, иначе – переход на шаг 1.

Как будет показано ниже в разделе «вычислительный эксперимент», оба способа выбора шага оказались достаточно эффективными.

Для выяснения качества полученного приближенного решения нам необходим эффективный алгоритм разбиения отрезка интегрирования для восстановления.

I способ. До начала работы алгоритма определяем: ε_{\min} – допустимый порядок погрешности восстановления, h_{\min} – минимальный шаг деления отрезка.

Выберем начальный шаг разбиения отрезка $h = \frac{(b-a)}{4}$, на отрезке $[a; a+h]$ строится чебышевская сетка размерности $N=200$ и отрезок ряда Фурье по полиномам Чебышева первого рода порядка N .

На полученном промежутке вычисляется погрешность ε . Если $\varepsilon < \varepsilon_{\min}$, то первоначальный шаг увеличивается вдвое и алгоритм повторяется сначала, иначе, проис-



ходит уменьшение шага до тех пор, пока не получится $\varepsilon \leq \varepsilon_{min}$ или не будет достигнут минимальный шаг h_{min} .

II способ. Построение приближенного решения жёстких нелинейных дифференциальных задач в аналитическом виде возможно и следующим образом:

Весь отрезок интегрирования задачи разбивается на подотрезки в зависимости от особенностей поведения функции: приближённое решение в точках x_i и $x_i + h_i$ должно не сильно отличаться, максимальное отношение абсолютных величин решений в соседних точках должно быть не большим.

Далее на каждом из полученных подотрезков строится полином Чебышева первого рода, для чего на каждом из подотрезков строится сетка Чебышева по следующему правилу:

Шаг 1. Берётся точка разбиения подотрезка корнями полинома Чебышева $T_{Чеб}$, находится ближайшая слева точка неравномерного разбиения $T_{Нер}$, и вычисленное ранее в ней решение.

Шаг 2. За начальное приближение берётся решение задачи в данной ближайшей точке и решается задача Коши с начальным шагом $(T_{Чеб} - T_{Нер})/2$.

Процедура поиска оптимального шага осуществляется стандартным способом.

При построении Чебышевской сетки желательно, чтобы корни соответствующего полинома Чебышева совпали с концами подотрезка интегрирования, для чего вместо отрезка $[a_i, b_i]$ рассматривается отрезок $[\alpha_i, \beta_i]$:

$$\alpha_i = \frac{2\beta_i - 2a \frac{1+t_n}{1+t_1}}{1-t_n - \frac{(1-t_n)(1+t_n)}{1+t_1}}; \quad \beta_i = \frac{2a_i}{1+t_i} - \alpha_i \frac{1-t_i}{1+t_i} \text{ здесь}$$

$$t_j = \cos\left(\frac{2j+1}{2n+1}\pi\right), j = \overline{1, n}$$

Таким образом, нами рассмотрена методика построения эффективного модуля решения жёстких начальных дифференциальных задач.

Этот метод будет использован нами в методе стрельбы для получения системы нелинейных уравнений (3). Решение операторного уравнения (3) будет осуществляться с помощью следующих двух эффективных трёхшаговых методов:

Шаг 1. Решается линейная система относительно Δp_i

$$f'(p_i)\Delta p_i = -f(p_i), i = 0, 1, \dots \quad (4)$$

Шаг 2. Производится уточнение приближённого решения по правилу

$$p_{i+1} = p_i + \sqrt{\beta_i} \Delta p_i, \beta_0 \in [1E - 3, 1E - 1] \quad (5)$$

Шаг 3. Проверяется качество полученного приближённого решения: если $\|f(p_{i+1})\| = \varepsilon \ll 1$, то конец просчетов, иначе производится пересчет шаговой длины по одной из формул:

$$\beta_{i+1} = \min\left(1, \frac{\gamma_n \|f(p_{n-1})\|}{\beta_n \|f(p_{n+1})\|}\right), \quad \gamma_0 = \frac{\beta_0^2 \|f(p_0)\|}{\|f(p_1)\|} \quad (6)$$



$$\begin{aligned}\gamma_{n+1} &= \frac{\gamma_n \|f(p_{n-1})\| \|f(p_n)\|}{\|f(p_{n+1})\| \|f(p_{n+2})\|}, \\ \beta_{n+1} &= \min\left(1, \frac{\gamma_n \|f(p_{n-1})\| \|f(p_n)\|}{\beta_n \|f(p_{n+1})\| \|f(p_n + \Delta p_n)\|}\right), \\ \gamma_{n+1} &= \frac{\beta_{n+1} \gamma_n \|f(p_{n+1})\| \|f(p_{n+1} + \Delta p_{n+1})\|}{\beta_n \|f(p_n + \Delta p_n)\| \|f(p_{n+2})\|}, \\ \gamma_0 &= \beta_0^2 \frac{\|f(p_0 + \Delta p_0)\|}{\|f(p_1)\|}, \quad \|f(p_{-1})\| = \|f(p_0)\|.\end{aligned}\tag{7}$$

Относительно процессов (4), (5), (6) и (4), (5), (7) справедлива

Теорема. Пусть в интересующей нас области D существует решение уравнения (3), $f \in C_D^{(2)}$, $\|f''(p)\| \leq K$, $\|[f'(p)]^{-1}\| \leq B$ и $\varepsilon_0 = 0.5KB^2 \beta_0 \|f(p_0)\| < 1$. Тогда итерационный процесс (4), (5), (6) и (4), (5), (7) со сверхлинейной (локально с квадратичной скоростью) сходится к x^* – решению уравнения (3).

Доказательство этой теоремы опирается на методику, предложенную в монографии [2].

Найдём соотношения, связывающие нормы невязок на соседних шагах, учитывая условия теоремы:

$$\|f(p_{n+1})\| \leq \|f(p_n) + f'(p_n)(p_{n+1} - p_n)\| + 0,5KB^2 \|p_{n+1} - p_n\|^2.$$

С учётом (4) и (5) окончательно имеем

$$\begin{aligned}\|f(p_{n+1})\| &\leq (1 - \sqrt{\beta_n}) \|f(p_n)\| + 0,5KB^2 \beta_n \|f(p_n)\|^2 \leq \\ &\leq \left(1 - \sqrt{\beta_n} \left(1 - 0,5KB^2 \sqrt{\beta_n} \|f(p_n)\|\right)\right) \|f(p_n)\| = (1 - \sqrt{\beta_n} (1 - \varepsilon_n)) \|f(p_n)\| = q_n \|f(p_n)\| \\ \varepsilon_n &= 0,5KB^2 \sqrt{\beta_n} \|f(p_n)\|, \quad q_n = 1 - \sqrt{\beta_n} (1 - \varepsilon_n).\end{aligned}$$

Покажем, что если выбирать β_{k+1} по формуле (6) и $\beta_{k+2} \neq 1$, то имеет место соотношение $\sqrt{\beta_{n+2}} \|f(p_{n+2})\| = \sqrt{\beta_{n+1}} \|f(p_{n+1})\| = \dots = \sqrt{\beta_0} \|f(p_0)\|$ (9)

В самом деле, беря отношение $\frac{\beta_{n+2}}{\beta_{n+1}}$, после простых преобразований имеем, что

$\sqrt{\beta_{n+2}} \|f(p_{n+2})\| = \sqrt{\beta_n} \|f(p_n)\|$. Используя метод математической индукции и полагая, что $\|f(p_{-1})\| = \|f(p_0)\|$, с учетом γ_0 из (6) получаем (9).

Аналогичные рассуждения относительно формул, определяющих β_{n+1} , дают соотношение (9) и для алгоритма (4), (5), (7).

Из (9) следует, что все ε_i , $i = 0, 1, \dots$ равны ε_0 , и если $\varepsilon_0 < 1$, то $\varepsilon_i = \varepsilon_0 < 1$, и все $q_i < 1$.



Из (8) при $n = 0$ имеем, что $\sqrt{\beta_1} \|f(p_1)\| = \sqrt{\beta_0} \|f(p_0)\|$ так, что сравнение двух последних соотношений даёт: $\beta_1 > \beta_0$, $q_1 < q_0$.

Применение метода математической индукции позволяет утверждать, что последовательность итерационных параметров $\{\beta_i\} \uparrow 1$, последовательность $\{q_i\} \downarrow 0$.

Из (8) и поведения последовательности $\{q_i\}$ следует, что

$$\|f(p_{n+1})\| \leq \prod_{i=0}^n q_i \|f(p_0)\| \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty. \quad (10)$$

Из (10) следет сходимость последовательности элементов, определяемых в результате работы итерационных процессов (4), (5), (6) и (4), (5), (7) к решению уравнения (3).

Покажем, что $\lim \beta_n = 1$ при $n \rightarrow \infty$, откуда будет следовать сверлинейная сходимость рассматриваемых процессов.

Для первого из рассматриваемых процессов имеем

$$\begin{aligned} \lim \beta_{n+1} &= \lim \frac{\gamma_n \|f(p_{n-1})\|}{\beta_n \|f(p_{n+1})\|} = \lim \frac{\gamma_{n-1} \|f(p_{n-2})\| \|f(p_{n-1})\|}{\beta_n \|f(p_n)\| \|f(p_{n+1})\|^2} = \\ &= \lim \frac{\gamma_{n-1} \|f(p_{n-2})\| \|f(p_{n-1})\| \beta_{n-1} \|f(p_n)\|}{\gamma_{n-1} \|f(p_{n-2})\| \|f(p_n)\| \|f(p_{n+2})\|^2} = \lim \frac{\|f(p_{n-1})\| \beta_{n-1}}{\|f(p_{n+2})\|^2} = \lim \frac{\beta_0 \|f(p_0)\|}{\|f(p_{n+2})\|^2} > \\ &> \lim \frac{\beta_0 \|f(p_0)\|}{\left(\prod_{i=0}^{n+1} q_i \|f(p_0)\|\right)^2} \end{aligned}$$

Из последнего предельного неравенства следует, что $\exists i$, что начиная с этого номера все β_i становятся равными единице, откуда следует сверхлинейность процесса (4), (5), (6). Аналогичные рассуждения оказываются справедливыми и относительно итерационного процесса (4), (5), (7). Теорема доказана.

Замечание 1. Знание оценок глобальных констант K и B не нужно. Важен лишь факт их существования.

Замечание 2. Проверка выполнимости условия $\varepsilon_0 < 1$ не нужна. Процессы автоматически входят в режим самонастройки, и на некотором шаге начинает выполняться условие $\varepsilon_0 < 1$.

Замечание 3. Регуляризация процесса происходит, если на шаге 1 решать регуляризованную систему $(\alpha \beta_n \|f(p_n)\|^2 E + \bar{f}'(p_n) f'(p_n)) \Delta p_n = -\bar{f}'(p_n) f(p_n)$, $n = 0, 1$. Здесь $\alpha \ll 1$, E – единичный оператор, $\bar{f}'(p_n)$ – линейный оператор, сопряжённый оператору $f'(p_n)$ – производной Фреше оператора f на элементе p_n .



Замечание 4. В случае если оператор f не дифференцируем, а лишь непрерывен, то на шаге 1 решается линейное уравнение $f(p_n, y_n)\Delta p_n = -f(p_n)$, $y_n = p_n - \beta_n f(p_n)$, $n = 0, 1$. Здесь $f(p_n, y_n)$ – первая разделённая разность оператора f .

Численные эксперименты

На примере двух очень жёстких задач малой размерности: задаче Ван-дер-Поля и Орего (модель химической реакции Белоусова-Жаботинского) была проверена эффективность описанных выше подходов к получению надёжного (высокоэффективного) модуля решения жёсткой задачи Коши.

Задача Ван-дер-Поля имеет вид

$$\begin{aligned}y_1' &= y_2, \\y_2' &= ((1 - y_1^2)y_2 - y_1) / \varepsilon, \quad \varepsilon = 10^{-6}, \\y_1(0) &= 2, \quad y_2(0) = 0; \quad x_{out} = 1, 2, \dots, 11.\end{aligned}$$

Взяв следующие параметры $A_{tol} = R_{tol} = 1E - 14$, минимальная точность восстановления $1E - 9$, минимальная ширина отрезка $0,5E - 6$, $h = 1E - 11$, $h_0 = 0.1$; взяв в качестве максимальной степень полинома Чебышева $N = 200$ и используя квадратурную формулу Симпсона с $n = 100$ узлами, мы получим интегральную погрешность на всем промежутке интегрирования $[0, 1]$ величину погрешности $R = 1.8572929984754E - 10$.

При решении задачи Орего, которая имеет вид

$$\begin{aligned}y_1' &= 77.27(y_2 + y_1(1 - 8.375 \cdot 10^{-6} y_1 - y_2)), \\y_2' &= \frac{1}{77.27}(y_3 - (1 + y_1))y_2, \\y_3' &= 0.161(y_1 - y_3)y_2, \\y_1(0) &= 1, \quad y_2(0) = 2, \quad y_3(0) = 3; \quad x_{out} = 30, 60, \dots, 360,\end{aligned}$$

и при тех же параметрах, что и выше, нами получена при $x_{out} = 30$ интегральная погрешность $R = 3.073642715567358E - 10$.

Таким образом, рассмотренный выше подход применительно к этим двум очень «плохим» задачам оказался весьма эффективным.

По предложенной выше методике был решён ещё ряд менее жёстких (но достаточно жёстких) задач: задача Бангофера-Ван-дер-Поля, задачи Релея, задача гликолиза, и на всех этих задачах результат был аналогичный тому, какой мы имели при рассмотрении задач Ван-дер-Поля и Орего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайрер Э. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи / Э. Хайрер [и др.]. – М. : Мир, 1999. – 685 с.
2. Мадорский, В.М. Квазиньютоновские процессы для решения нелинейных уравнений / В.М. Мадорский. – Брест, 2005. – 186 с.



V.M. Madorski. About Finding Approximate Solution of Hard Nonlinear Boundary Differential Problems

The ballistic method is used to find approximate solution of hard nonlinear boundary differential problems.

High-accuracy module of the solution of hard nonlinear differential Koshi's problem and a super linear process for solution of a nonlinear system in a Banach space are proposed in the article.



УДК 519.6+517.983.54

В.Ф. Савчук, О.В. Матысик

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИТЕРАЦИЙ С ПЕРЕМЕННЫМ ШАГОМ РЕШЕНИЯ НЕКОРРЕКТНЫХ ЗАДАЧ В ГИЛЬБЕРТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В гильбертовом пространстве предлагается метод итераций решения операторных уравнений Грода с положительным самосопряженным ограниченным оператором. Изучена сходимость метода в случае априорного выбора числа итераций в исходной и энергетической норме гильбертова пространства, получены оценки погрешности. Использование энергетической нормы позволяет сделать метод эффективным и тогда, когда нет сведений об истокообразной представимости точного решения уравнения. Проведено сравнение оценок погрешности рассматриваемого итерационного метода и явного метода простой итерации. Для предложенного метода обосновано применение правила останова по невязке. Исследована сходимость метода в случае неединственного решения уравнения.

1. Постановка задачи

В действительном гильбертовом пространстве H исследуется операторное уравнение I рода

$$Ax = y, \quad (1)$$

где A – положительный ограниченный и самосопряженный оператор, для которого нуль не является собственным значением, однако принадлежит спектру оператора A , и, следовательно, задача некорректна. Пусть $y \in R(A)$, т. е. при точной правой части y уравнение (1) имеет единственное решение x . Для отыскания этого решения применяется метод итераций с переменным шагом

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n - \alpha_{n+1}(Ax_n - y), \quad x_0 = 0, \\ \alpha_{3n+1} &= \alpha, \quad \alpha_{3n+2} = \beta, \quad \alpha_{3n+3} = \gamma, \quad n = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Обычно правая часть уравнения известна с некоторой точностью δ , т. е. известен y_δ , для которого $\|y - y_\delta\| \leq \delta$. Поэтому вместо метода (2) приходится рассматривать приближения

$$\begin{aligned} x_{n+1,\delta} &= x_{n,\delta} - \alpha_{n+1}(Ax_{n,\delta} - y_\delta), \quad x_{0,\delta} = 0, \\ \alpha_{3n+1} &= \alpha, \quad \alpha_{3n+2} = \beta, \quad \alpha_{3n+3} = \gamma, \quad n = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (3)$$

Для упрощения будем считать, что $\|A\| = 1$.

Ниже, как обычно, под сходимостью метода (3) понимается утверждение о том, что приближения (3) сколь угодно близко подходят к точному решению уравнения при достаточно малых δ и $n\delta$ и достаточно больших n .

2. Сходимость метода в случае априорного выбора числа итераций

2.1 Сходимость при точной правой части уравнения

Воспользовавшись интегральным представлением положительного самосопряженного оператора A и формулой (2), по индукции получим



$x - x_n = \int_0^1 \lambda^{-1} (1 - \alpha\lambda)^k (1 - \beta\lambda)^l (1 - \gamma\lambda)^m dE_{\lambda} y$, где E_{λ} – спектральная функция оператора A . Разобьем полученный интеграл на два:

$$x - x_n = \int_0^{\varepsilon} \lambda^{-1} (1 - \alpha\lambda)^k (1 - \beta\lambda)^l (1 - \gamma\lambda)^m dE_{\lambda} y + \int_{\varepsilon}^1 \lambda^{-1} (1 - \alpha\lambda)^k (1 - \beta\lambda)^l (1 - \gamma\lambda)^m dE_{\lambda} y.$$

Здесь k, l, m – натуральные показатели, где $l + m + k = n$. Потребуем, чтобы при $\lambda \in (0, 1]$ и положительных α, β, γ выполнялись условия

$$\left. \begin{aligned} |1 - \alpha\lambda| < 1, \text{ (т.е. } 0 < \alpha < 2), \\ |(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)| < 1, \\ |(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)(1 - \gamma\lambda)| < 1. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Считая $k = l = m = \frac{n}{3}$ ($n = 3p$, $p \in N$), при условиях (4) получим

$$\left\| \int_{\varepsilon}^1 \lambda^{-1} (1 - \alpha\lambda)^k (1 - \beta\lambda)^l (1 - \gamma\lambda)^m dE_{\lambda} y \right\| \leq q^{n/3} \left\| \int_{\varepsilon}^1 dE_{\lambda} x \right\| \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty.$$

Здесь $q = \max_{\lambda \in [\varepsilon, 1]} |(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)(1 - \gamma\lambda)| < 1$. Кроме этого,

$$\left\| \int_0^{\varepsilon} \lambda^{-1} (1 - \alpha\lambda)^k (1 - \beta\lambda)^l (1 - \gamma\lambda)^m dE_{\lambda} y \right\| \leq \left\| \int_0^{\varepsilon} \lambda^{-1} dE_{\lambda} y \right\| = \left\| \int_0^{\varepsilon} dE_{\lambda} x \right\| = \|E_{\varepsilon} x\| \rightarrow 0, \quad \varepsilon \rightarrow 0$$

в силу свойств спектральной функции [1, с. 302]. Таким образом, $\|x - x_n\| \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$.

Тем самым доказана сходимость метода (2) к точному решению операторного уравнения (1) при точной правой части y .

Замечание 1. Условие $|(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)| < 1$ равносильно совокупности условий $\alpha\beta < \alpha + \beta$ и $(\alpha + \beta)^2 < 8\alpha\beta$ (см. [2]). Отсюда $\alpha + \beta < 8$.

2.2 Сходимость при приближенной правой части уравнения

Итерационный процесс (3) является сходящимся, если нужным образом выбирать число итераций n в зависимости от уровня погрешности δ . Справедлива

Теорема 1. Итеративный процесс (3) сходится при условиях (4), если выбирать число итераций n в зависимости от δ так, чтобы $n\delta \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$, $\delta \rightarrow 0$.

Доказательство. Рассмотрим разность $x - x_{n,\delta} = (x - x_n) + (x_n - x_{n,\delta})$. По доказанному в подразделе 2.1 $x - x_n \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$. Убедимся, что $x_n - x_{n,\delta}$ можно сделать сходящимся к нулю. Воспользовавшись интегральным



представлением самосопряженного оператора A , имеем $x_n - x_{n,\delta} = \int_0^1 \lambda^{-1} \left[1 - (1 - \alpha\lambda)^k (1 - \beta\lambda)^l (1 - \gamma\lambda)^m \right] dE_\lambda (y - y_\delta)$. Считая $k = l = m = \frac{n}{3}$ ($n = 3p$, $p \in N$),

оценим сверху подинтегральную функцию $g_n(\lambda) = \lambda^{-1} \left[1 - (1 - \alpha\lambda)^{n/3} (1 - \beta\lambda)^{n/3} (1 - \gamma\lambda)^{n/3} \right]$.

По индукции нетрудно показать, что $g_n(\lambda) \leq \frac{n}{3}(\alpha + \beta + \gamma)$. Тогда справедлива оценка

$$\|x_n - x_{n,\delta}\| \leq \frac{n}{3}(\alpha + \beta + \gamma)\delta. \text{ Поскольку } \|x - x_{n,\delta}\| \leq \|x - x_n\| + \|x_n - x_{n,\delta}\| \leq \|x - x_n\| + \frac{n}{3}(\alpha + \beta + \gamma)\delta$$

и, как показано в подразделе 2.1, $\|x - x_n\| \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$, то для сходимости метода (3) достаточно, чтобы $n\delta \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$, $\delta \rightarrow 0$. Теорема 1 доказана.

2.3. Оценка погрешности

Оценить скорость сходимости приближений (3) без дополнительных предположений невозможно, так как неизвестна и может быть сколь угодно малой скорость убывания к нулю $\|x - x_n\|$. Поэтому для оценки скорости сходимости метода будем использовать дополнительную априорную информацию на гладкость точного решения x уравнения (1) – возможность его истокообразного представления, т.е. что $x = A^s z$, $s > 0$. Тогда имеем $y = A^{s+1} z$ и, следовательно, получим $x - x_n =$

$$\int_0^1 (1 - \alpha\lambda)^{n/3} (1 - \beta\lambda)^{n/3} (1 - \gamma\lambda)^{n/3} \lambda^s dE_\lambda z. \text{ Для оценки } \|x - x_n\| \text{ найдем максимум}$$

модуля подинтегральной функции $\phi(\lambda) = (1 - \alpha\lambda)^{n/3} (1 - \beta\lambda)^{n/3} (1 - \gamma\lambda)^{n/3} \lambda^s$. Нетрудно показать, что при условиях (4) для достаточно больших n справедлива оценка

$$\max_{[0,1]} |\phi(\lambda)| \leq s^s \left[\frac{n}{3}(\alpha + \beta + \gamma)e \right]^{-s} \text{ и, следовательно, получим } \|x - x_n\| \leq s^s \left[\frac{n}{3}(\alpha + \beta + \gamma)e \right]^{-s} \|z\|.$$

Таким образом, общая оценка погрешности итерационной процедуры (3) запишется

$$\text{в виде } \|x - x_{n,\delta}\| \leq \|x - x_n\| + \|x_n - x_{n,\delta}\| \leq s^s \left[\frac{n}{3}(\alpha + \beta + \gamma)e \right]^{-s} \|z\| + \frac{n}{3}(\alpha + \beta + \gamma)\delta. \text{ Для ми-}$$

нимизации полученной оценки погрешности вычислим её правую часть в точке, в которой производная от нее равна нулю; в результате получим оптимальную оценку $\|x - x_{n,\delta}\|_{\text{опт}} \leq (1 + s)e^{-s/(s+1)} \delta^{s/(s+1)} \|z\|^{1/(s+1)}$ и априорный момент останова

$$n_{\text{опт}} = s \left(\frac{\alpha + \beta + \gamma}{3} \right)^{-1} e^{-s/(s+1)} \delta^{-1/(s+1)} \|z\|^{1/(s+1)}. \text{ Порядок последней оценки оптима-}$$

лен в классе задач с истокообразно представимыми решениями [5].

Очевидно, что оптимальная оценка погрешности не зависит от параметров α , β и γ , но от них зависит $n_{\text{опт}}$. Поэтому для уменьшения $n_{\text{опт}}$ и, значит, объема вы-



числительной работы, следует брать α, β и γ по возможности большими, удовлетворяющими условиям (4) и так, чтобы $n_{\text{опт}} \in N$.

Метод (3) не дает преимущества в мажорантных оценках погрешности по сравнению с известным методом простых итераций с постоянным шагом $x_{n+1, \delta} = x_{n, \delta} + \alpha(y_{\delta} - Ax_{n, \delta})$, $x_{0, \delta} = 0$ [3–5, 7–8]. Но он дает выигрыш в следующем. В методе простых итераций с постоянным шагом требуется условие $0 < \alpha \leq 1,25$, а в методе (3) $0 < \alpha < 2$, $\alpha + \beta < 8$, а γ выбирается из условия $|(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)(1 - \gamma\lambda)| < 1$. Итак, выбирая α, β, γ соответствующим образом, можно сделать $n_{\text{опт}}$ в методе (3) меньшим, чем для метода простых итераций с постоянным шагом. Таким образом, используя метод (3), для достижения оптимальной точности потребуется сделать число итераций по крайней мере в 2,5 раза меньше, чем методом итераций с постоянным шагом.

3. Сходимость метода в энергетической норме

Изучим сходимость приближений (3) в энергетической норме гильбертова пространства $\|x\|_A = \sqrt{(Ax, x)}$. При этом, как обычно, число итераций n нужно выбирать в зависимости от уровня погрешности δ . Полагаем $x_{0, \delta} = 0$ и рассмотрим разность $x - x_{n, \delta} = (x - x_n) + (x_n - x_{n, \delta})$.

С помощью интегрального представления самосопряженного оператора A получим
$$\|x - x_n\|_A^2 = \int_0^1 \lambda (1 - \alpha\lambda)^{2n/3} (1 - \beta\lambda)^{2n/3} (1 - \gamma\lambda)^{2n/3} d(E_{\lambda} x, x) \quad \text{и}$$

$$\|x_n - x_{n, \delta}\|_A^2 = \int_0^1 \lambda^{-1} \left[1 - (1 - \alpha\lambda)^{n/3} (1 - \beta\lambda)^{n/3} (1 - \gamma\lambda)^{n/3} \right]^2 d(E_{\lambda} (y - y_{\delta}), y - y_{\delta}).$$
 Оценив

подынтегральные функции, получим при условиях (4) оценку погрешности для итерационной процедуры (3) в энергетической норме

$$\|x - x_{n, \delta}\|_A \leq \left[\frac{2n}{3} (\alpha + \beta + \gamma) e \right]^{-1/2} \|x\| + \left(\frac{2}{3} \right)^{1/2} n^{1/2} (\alpha + \beta + \gamma)^{1/2} \delta, \quad n \geq 1.$$
 Следовательно,

если в процессе (3) выбирать число итераций $n = n(\delta)$, зависящим от δ так, чтобы $\sqrt{n} \delta \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$, $\delta \rightarrow 0$, то получим метод, обеспечивающий сходимость к точному решению уравнения (1) в энергетической норме. Оптимальная оценка погрешности для приближений (3) имеет вид $\|x - x_{n, \delta}\|_A^{\text{опт}} \leq 2e^{-1/4} \delta^{1/2} \|x\|^{1/2}$ и достигается при

$$n_{\text{опт}} = 3(\alpha + \beta + \gamma)^{-1} e^{-1/2} (2\delta)^{-1} \|x\|.$$

Существенно, что использование энергетической нормы позволило получить оптимальный шаг итераций $n_{\text{опт}}$ и априорную оценку погрешности для метода (3) без дополнительного требования истокообразной представимости точного решения. Заметим, что использование энергетической нормы как бы заменяет истокообразную представимость точного решения порядка $s = \frac{1}{2}$ (см. подраздел 2.3).



4. Правило останова по невязке

Априорный выбор числа итераций n в исходной норме гильбертова пространства получен в предположении, что имеется дополнительная информация на гладкость точного решения x уравнения (1) – его истокообразная представимость. Однако обычно сведения об истокообразности искомого решения неизвестны, и тем самым приведенные в разделе 2 оценки погрешности оказываются неприменимыми. Тем не менее метод (3) можно сделать вполне эффективным, если воспользоваться следующим правилом останова по невязке, аналогичным [5–6; 9]. Зададим $\varepsilon > 0$ и момент m останова итерационного процесса (3) определим условиями

$$\|Ax_{n,\delta} - y_\delta\| > \varepsilon, \quad (n < m), \quad \|Ax_{m,\delta} - y_\delta\| \leq \varepsilon, \quad \varepsilon = b\delta, \quad b > 1. \quad (5)$$

Предполагаем, что при начальном приближении $x_{0,\delta}$ невязка достаточно велика, больше уровня останова ε , т. е. $\|Ax_{0,\delta} - y_\delta\| > \varepsilon$. Покажем возможность применения правила (5) к методу (3). Ниже метод итераций (3) с остановом (5) является сходящимся, если $\lim_{\delta \rightarrow 0} \left(\inf_m \|x - x_{m,\delta}\| \right) = 0$. Рассмотрим при $n = 3p$, $p = 1, 2, \dots$ семейство функций $g_n(\lambda) = \lambda^{-1} \left[1 - (1 - \alpha\lambda)^{n/3} (1 - \beta\lambda)^{n/3} (1 - \gamma\lambda)^{n/3} \right]$. В разделе 2 было показано, что при (4) для $g_n(\lambda)$ выполняются условия:

$$\sup_{0 \leq \lambda \leq 1} |g_n(\lambda)| \leq \frac{n(\alpha + \beta + \gamma)}{3}, \quad (6)$$

$$\sup_{0 \leq \lambda \leq 1} |1 - \lambda g_n(\lambda)| = \sup_{0 \leq \lambda \leq 1} \left| (1 - \alpha\lambda)^{\frac{n}{3}} (1 - \beta\lambda)^{\frac{n}{3}} (1 - \gamma\lambda)^{\frac{n}{3}} \right| \leq 1, \quad (7)$$

$$1 - \lambda g_n(\lambda) = (1 - \alpha\lambda)^{\frac{n}{3}} (1 - \beta\lambda)^{\frac{n}{3}} (1 - \gamma\lambda)^{\frac{n}{3}} \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty, \quad \forall \lambda \in (0, 1], \quad (8)$$

$$\sup_{0 \leq \lambda \leq 1} \lambda^s |1 - \lambda g_n(\lambda)| \leq s^s \left[\frac{n(\alpha + \beta + \gamma)e}{3} \right]^{-s}, \quad n > 0, \quad 0 \leq s < \infty. \quad (9)$$

Справедливы следующие леммы.

Л е м м а 1. Пусть $A = A^* \geq 0, \|A\| \leq 1$. Тогда для $\forall w \in H \quad (E - Ag_n(A))w \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$.

Доказательство. Воспользовавшись интегральным представлением самосопряженного оператора A , получим

$$\|(E - Ag_n(A))w\| = \left\| \int_0^1 (1 - \lambda g_n(\lambda)) dE_\lambda w \right\| = \left\| \int_0^1 (1 - \alpha\lambda)^{n/3} (1 - \beta\lambda)^{n/3} (1 - \gamma\lambda)^{n/3} dE_\lambda w \right\| \leq$$



$$\leq \left\| \int_0^\varepsilon (1-\alpha\lambda)^{n/3} (1-\beta\lambda)^{n/3} (1-\gamma\lambda)^{n/3} dE_\lambda w \right\| + \left\| \int_\varepsilon^1 (1-\alpha\lambda)^{n/3} (1-\beta\lambda)^{n/3} (1-\gamma\lambda)^{n/3} dE_\lambda w \right\| = \|I_1\| + \|I_2\|.$$

Аналогічна, как в подразделе 2.1, показывается, что $\|I_1\| \rightarrow 0$ и $\|I_2\| \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$, $\varepsilon \rightarrow 0$. Следовательно, $(E - Ag_n(A))w \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$. Лемма 1 доказана.

Лемма 2. Пусть $A = A^* \geq 0, \|A\| \leq 1$. Тогда для $\forall v \in \overline{R(A)}$ имеет место соотношение $n^s \|A^s (E - Ag_n(A))v\| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty, 0 \leq s < \infty$.

Доказательство. Так как (9) верно, то выполняется $n^s \|A^s (E - Ag_n(A))\| \leq \leq n^s \sup_{0 \leq \lambda \leq 1} \lambda^s |1 - \lambda g_n(\lambda)| \leq s^s \left[\frac{(\alpha + \beta + \gamma)e}{3} \right]^{-s} = \gamma_s, n \geq 1$. Воспользуемся теоремой Ба-наха–Штейнгауза [10, с. 151], по которой сходимость $B_n u \rightarrow B u$ при $n \rightarrow \infty$ для $\forall u \in H$ имеет место тогда и только тогда, когда эта сходимость имеет место на некотором плотном в H подмножестве и $\|B_n\|, n = 1, 2, \dots$ ограничены независимой от n постоянной. Имеем $\|B_n\| = n^s \|A^s (E - Ag_n(A))\| \leq \gamma_s$, т. е. $\|B_n\|$ совокупно ограничены. В качестве плотного в $\overline{R(A)}$ подмножества возьмем множество $R(A)$ и положим $s_1 = s + 1$. Тогда для каждого $v = Aw \in R(A)$ получим

$$\begin{aligned} n^s \|A^s (E - Ag_n(A))v\| &= n^s \|A^{s+1} (E - Ag_n(A))w\| \leq n^s \sup_{0 \leq \lambda \leq 1} \lambda^{s+1} |1 - \lambda g_n(\lambda)| \|w\| \leq \\ &\leq n^s (s+1)^{(s+1)} \left[\frac{n(\alpha + \beta + \gamma)e}{3} \right]^{-(s+1)} \|w\| = n^{-1} \gamma_{s_1} \|w\| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty, \end{aligned}$$

так как $s_1 < \infty$. Лемма 2 доказана.

Лемма 3. Пусть $A = A^* \geq 0, \|A\| \leq 1$. Если для некоторых $n_k < \bar{n} = \text{const}$ и $v_0 \in \overline{R(A)}$ при $k \rightarrow \infty$ имеем $w_k = A(E - Ag_{n_k}(A))v_0 \rightarrow 0$, то $v_k = (E - Ag_{n_k}(A))v_0 \rightarrow 0$.

Доказательство. В силу (7) справедливо неравенство $\|v_k\| = \|(E - Ag_{n_k}(A))v_0\| \leq \|v_0\|, k \in N$. Следовательно, последовательность v_k ограничена. Поэтому в гильбертовом пространстве из этой последовательности можно извлечь слабо сходящуюся подпоследовательность. Пусть $v_k \rightharpoonup v (k \in N' \subseteq N)$, тогда $Av_k \rightharpoonup Av (k \in N')$. Но по условию имеем $w_k = Av_k \rightarrow 0, k \rightarrow \infty$, следовательно, $Av = 0$. Поскольку 0 не является собственным значением оператора A , то $v = 0$. Тогда



$$\begin{aligned} \|v_k\|^2 &= (v_k, (E - Ag_{n_k}(A))v_0) = (v_k, v_0) - (v_k, Ag_{n_k}(A)v_0) = \\ &= (v_k, v_0) - (Av_k, g_{n_k}(A)v_0) = (v_k, v_0) - (w_k, g_{n_k}(A)v_0) \rightarrow 0, k \rightarrow \infty, \end{aligned}$$

так как $w_k \rightarrow 0$, $v = 0$ и по условию (6) $\|g_{n_k}(A)\| \leq \frac{nk}{3}(\alpha + \beta + \gamma) < \frac{\bar{n}}{3}(\alpha + \beta + \gamma)$. Следовательно, $\|v_k\| \rightarrow 0$, $k \rightarrow \infty$. Итак, всякая слабо сходящаяся подпоследовательность указанной выше ограниченной последовательности v_k стремится к нулю по норме. Следовательно, и вся последовательность $v_k \rightarrow 0$, $k \rightarrow \infty$. Лемма 3 доказана.

Используем доказанные леммы при доказательстве следующих теорем.

Т е о р е м а 2. Пусть $A = A^* \geq 0$, $\|A\| \leq 1$ и пусть момент останова $m = m(\delta)$ в методе (3) выбирается по правилу (5). Тогда метод (3) сходится.

Доказательство. По индукции нетрудно показать, что $x_{n,\delta} = A^{-1} \left[E - (E - \alpha A)^{n/3} (E - \beta A)^{n/3} (E - \gamma A)^{n/3} \right] y_\delta$. Следовательно,

$$x_{n,\delta} - x = g_n(A)(y_\delta - y) - (E - Ag_n(A))x. \quad (10)$$

Отсюда

$$Ax_{n,\delta} - y_\delta = -A[E - Ag_n(A)]x - (E - Ag_n(A))(y_\delta - y). \quad (11)$$

В силу лемм 1 и 2 имеем

$$\|(E - Ag_n(A))x\| \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty, \quad (12)$$

$$\sigma_n = n\|A(E - Ag_n(A))x\| \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty. \quad (13)$$

Кроме того, из (6) и (7) следует, что

$$\|g_n(A)(y_\delta - y)\| \leq \frac{n}{3}(\alpha + \beta + \gamma)\delta, \quad (14)$$

$$\|E - Ag_n(A)\| \leq 1. \quad (15)$$

Применим правило (5). Тогда $\|Ax_{m,\delta} - y_\delta\| \leq b\delta$, $b > 1$, и из (11) и (15) получим

$$\|A(E - Ag_m(A))x\| \leq \|Ax_{m,\delta} - y_\delta\| + \|(E - Ag_m(A))(y_\delta - y)\| \leq (b+1)\delta. \quad (16)$$

Для $\forall n < m$ справедливы неравенства $\|Ax_{n,\delta} - y_\delta\| > \varepsilon$. Поэтому

$\|A(E - Ag_n(A))x\| \geq \|Ax_{n,\delta} - y_\delta\| - \|(E - Ag_n(A))(y_\delta - y)\| \geq (b-1)\delta$. Итак, для $\forall n < m$

$$\|A(E - Ag_n(A))x\| \geq (b-1)\delta. \quad (17)$$



Из (13) и (17) при $n = m - 3$ получаем $\frac{\sigma_{m-3}}{m-3} = \|A(E - Ag_{m-3}(A))x\| \geq (b-1)\delta$ или, что то же, $(m-3)\delta \leq \frac{\sigma_{m-3}}{b-1} \rightarrow 0, \delta \rightarrow 0$, (так как из (13) $\sigma_m \rightarrow 0, m \rightarrow \infty$). Если при этом $m \rightarrow \infty$ при $\delta \rightarrow 0$, то, используя равенство (10), получим

$$\|x_{m,\delta} - x\| \leq \|(E - Ag_m(A))x\| + \|g_m(A)(y_\delta - y)\| \leq \|(E - Ag_m(A))x\| + \frac{m}{3}(\alpha + \beta + \gamma)\delta \rightarrow 0, m \rightarrow \infty, \delta \rightarrow 0,$$

так как из (12) вытекает $\|(E - Ag_m(A))x\| \rightarrow 0, m \rightarrow \infty$.

Если же для некоторых δ_n последовательность $m(\delta_n)$ окажется ограниченной, то и в этом случае $x_{m(\delta_n),\delta_n} \rightarrow x, \delta_n \rightarrow 0$. Действительно, из (16) имеем $\|A(E - Ag_{m(\delta_n)}(A))x\| \leq (b+1)\delta_n \rightarrow 0, \delta_n \rightarrow 0$. Следовательно $A(E - Ag_{m(\delta_n)}(A))x \rightarrow 0, \delta_n \rightarrow 0$, поэтому по лемме 3 получаем, что тогда $(E - Ag_{m(\delta_n)}(A))x \rightarrow 0, \delta_n \rightarrow 0$. Отсюда

$$\|x_{m(\delta_n),\delta_n} - x\| \leq \|(E - Ag_{m(\delta_n)}(A))x\| + \frac{m(\delta_n)}{3}(\alpha + \beta + \gamma)\delta_n \rightarrow 0, \delta_n \rightarrow 0.$$

Теорема 2 доказана.

Т е о р е м а 3. Пусть выполнены условия теоремы 2 и пусть $x = A^s z, s > 0$.

Тогда справедливы оценки $m \leq 3 + \frac{3(s+1)}{(\alpha + \beta + \gamma)e} \left[\frac{\|z\|}{(b-1)\delta} \right]^{1/(s+1)}$,

$$\|x_{m,\delta} - x\| \leq [(b+1)\delta]^{s/(s+1)} \|z\|^{1/(s+1)} + \frac{\alpha + \beta + \gamma}{3} \left\{ 3 + \frac{3(s+1)}{(\alpha + \beta + \gamma)e} \left[\frac{\|z\|}{(b-1)\delta} \right]^{1/(s+1)} \right\} \delta. \quad (18)$$

Доказательство. При $n = m - 3$ получим

$$\begin{aligned} \|A(E - Ag_{m-3}(A))x\| &= \|A^{s+1}(E - Ag_{m-3}(A))z\| = \\ &= \left\| \int_0^1 \lambda^{s+1} (1 - \lambda g_{m-3}(\lambda)) dE_\lambda z \right\| \leq (s+1)^{s+1} \left[(m-3) \frac{(\alpha + \beta + \gamma)e}{3} \right]^{-(s+1)} \|z\|. \end{aligned}$$

Тогда, воспользовавшись неравенством (17), получим

$$(b-1)\delta \leq (s+1)^{s+1} \left[(m-3) \frac{(\alpha + \beta + \gamma)e}{3} \right]^{-(s+1)} \|z\|, \quad \text{откуда справедливо}$$

$$m \leq 3 + \frac{3(s+1)}{(\alpha + \beta + \gamma)e} \left[\frac{\|z\|}{(b-1)\delta} \right]^{1/(s+1)}. \quad \text{При помощи неравенства моментов оценим:}$$



$$\begin{aligned}\|(E - Ag_m(A))x\| &= \|A^s(E - Ag_m(A))z\| \leq \|A^{s+1}(E - Ag_m(A))z\|^{s/(s+1)} \|(E - Ag_m(A))z\|^{1/(s+1)} \leq \\ &\leq \|A(E - Ag_m(A))x\|^{s/(s+1)} \|z\|^{1/(s+1)} \leq [(b+1)\delta]^{s/(s+1)} \|z\|^{1/(s+1)} \text{ (см. (16)).}\end{aligned}$$

Теперь, поскольку соотношение (10) справедливо для любых n , то

$$\begin{aligned}\|x_{m,\delta} - x\| &\leq \|(E - Ag_m(A))x\| + \|g_m(A)(y_\delta - y)\| \leq \\ &\leq [(b+1)\delta]^{s/(s+1)} \|z\|^{1/(s+1)} + \frac{m(\alpha + \beta + \gamma)}{3} \delta \leq \\ &\leq [(b+1)\delta]^{s/(s+1)} \|z\|^{1/(s+1)} + \frac{\alpha + \beta + \gamma}{3} \left\{ 3 + \frac{3(s+1)}{(\alpha + \beta + \gamma)e} \left[\frac{\|z\|}{(b-1)\delta} \right]^{1/(s+1)} \right\} \delta.\end{aligned}$$

Теорема 3 доказана.

Замечание 2. Порядок оценки погрешности (18) для метода (3), полученной в теореме 3, есть $O(\delta^{s/(s+1)})$, и он оптимален в классе задач с истокорпредставимыми решениями $x = A^s z$, $s > 0$ [5].

Замечание 3. Хотя формулировка теоремы 3 дается с указаниями степени истокорпредставимости s и истокорпредставляющего элемента z , на практике их значение не потребуется, так как они не содержатся в правиле останова (5). И тем не менее в теореме 3 утверждается, что будет автоматически выбрано количество итераций m , обеспечивающее оптимальный порядок погрешности. Но даже если истокорпредставимость точного решения отсутствует, останов по невязке (5), как показывает теорема 2, обеспечивает сходимость метода, т. е. его регуляризующие свойства.

5. Сходимость метода в случае неединственного решения

Пусть теперь 0 – собственное значение оператора A (т. е. уравнение (1) имеет неединственное решение). Положим $N(A) = \{x \in H \mid Ax = 0\}$, и пусть $M(A)$ – ортогональное дополнение ядра $N(A)$ до H . Пусть далее $P(A)x$ – проекция $x \in H$ на $N(A)$, а $\Pi(A)x$ – проекция $x \in H$ на $M(A)$. Справедлива

Теорема 4. Пусть $A \geq 0$, $y \in H$, $0 < \alpha < 2$, $\|(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)\| < 1$, $\|(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)(1 - \gamma\lambda)\| < 1$. Тогда для итерационного процесса (2) верны следующие утверждения:

а) $Ax_n \rightarrow \Pi(A)y$, $\|Ax_n - y\| \rightarrow I(A, y) = \inf_{x \in H} \|Ax - y\|$;

б) метод (2) сходится тогда и только тогда, когда уравнение $Ax = \Pi(A)y$ разрешимо. В последнем случае $x_n \rightarrow P(A)x_0 + x^*$, где x^* – минимальное решение уравнения.



Доказательство. Применим оператор A к (2), получим $Ax_n = A(E - \alpha_n A)x_{n-1} + \alpha_n Ay$, где $y = P(A)y + \Pi(A)y$. Так как $AP(A)y = 0$, то $Ax_n = A(E - \alpha_n A)x_{n-1} + \alpha_n A\Pi(A)y$. Отсюда

$$\begin{aligned} Ax_n - \Pi(A)y &= A(E - \alpha_n A)x_{n-1} + \alpha_n A\Pi(A)y - \Pi(A)y = \\ &= A(E - \alpha_n A)x_{n-1} - (E - \alpha_n A)\Pi(A)y = (E - \alpha_n A)(Ax_{n-1} - \Pi(A)y) = \\ &= (E - \alpha_n A)(E - \alpha_{n-1}A) \dots (E - \alpha_1 A)(Ax_0 - \Pi(A)y). \end{aligned}$$

Обозначим $v_n = Ax_n - \Pi(A)y$, тогда $v_n = (E - \alpha_n A)(E - \alpha_{n-1}A) \dots (E - \alpha_1 A)v_0$. Имеем $A \geq 0$, и A – положительно определен в $M(A)$, т. е. $(Ax, x) > 0$ для любого $x \in M(A)$. Так как $0 < \alpha < 2$, $|(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)| < 1$, $|(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)(1 - \gamma\lambda)| < 1$, то, воспользовавшись интегральным представлением самосопряжённого оператора A , получим

$$\|v_n\| = \left\| \int_0^1 (1 - \alpha_1\lambda)(1 - \alpha_2\lambda) \dots (1 - \alpha_n\lambda) dE_\lambda v_0 \right\| = \left\| \int_0^1 (1 - \alpha\lambda)^k (1 - \beta\lambda)^l (1 - \gamma\lambda)^m dE_\lambda v_0 \right\|.$$

Здесь l, m, k – натуральные показатели, где $l + m + k = n$. Считаем, что $k = l = m = \frac{n}{3}$.

Справедлива цепочка неравенств

$$\begin{aligned} \|v_n\| &\leq \left\| \int_0^{\varepsilon_0} (1 - \alpha\lambda)^k (1 - \beta\lambda)^l (1 - \gamma\lambda)^m dE_\lambda v_0 \right\| + \left\| \int_{\varepsilon_0}^1 (1 - \alpha\lambda)^k (1 - \beta\lambda)^l (1 - \gamma\lambda)^m dE_\lambda v_0 \right\| \leq \\ &\leq \|E_{\varepsilon_0} v_0\| + q^{n/3}(\varepsilon_0) \|v_0 - E_{\varepsilon_0} v_0\| < \varepsilon \end{aligned}$$

при $\varepsilon_0 \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$. Здесь $q = \max_{\lambda \in [\varepsilon_0, 1]} |(1 - \alpha\lambda)(1 - \beta\lambda)(1 - \gamma\lambda)| < 1$. Следовательно, имеем

$v_n \rightarrow 0$, откуда $Ax_n \rightarrow \Pi(A)y$ и $\Pi(A)y \in A(H)$. Таким образом, $\|Ax_n - y\| \rightarrow \|\Pi(A)y - y\| = \|P(A)y\| = I(A, y)$ (по теореме 2.1 из [8]). Итак, утверждение а) доказано.

Докажем б). Пусть процесс (2) сходится. Покажем, что уравнение $Ax = \Pi(A)y$ разрешимо. Из сходимости $\{x_n\} \in H$ к $z \in H$ и из а) следует, что $Ax_n \rightarrow Az = \Pi(A)y$, следовательно, $\Pi(A)y \in A(H)$, и уравнение $\Pi(A)y = Ax$ разрешимо. Пусть теперь $\Pi(A)y \in A(H)$ (уравнение $Ax = \Pi(A)y$ разрешимо), следовательно, $\Pi(A)y = Ax^*$, где x^* – минимальное решение уравнения $Ax = y$ (оно единственно в $M(A)$). Тогда метод (2) примет вид

$$\begin{aligned} x_n &= (E - \alpha_n A)x_{n-1} + \alpha_n y = (E - \alpha_n A)x_{n-1} + \alpha_n \Pi(A)y = \\ &= (E - \alpha_n A)x_{n-1} + \alpha_n Ax^* = x_{n-1} + \alpha_n A(x^* - x_{n-1}). \end{aligned}$$

Разобьем последнее равенство на два, так как $x_n = P(A)x_n + \Pi(A)x_n$. Тогда



$$P(A)x_n = P(A)x_{n-1} + \alpha_n P(A)A(x^* - x_{n-1}) = P(A)x_{n-1} = P(A)x_0,$$

так как $AP(A)(x^* - x_{n-1}) = 0$.

$$\begin{aligned} \Pi(A)x_n &= \Pi(A)x_{n-1} + \alpha_n \Pi(A)A(x^* - x_{n-1}) = \Pi(A)x_{n-1} + \alpha_n A(\Pi(A)x^* - \\ &\quad - \Pi(A)x_{n-1}) = \Pi(A)x_{n-1} - \alpha_n A(\Pi(A)x_{n-1} - x^*), \end{aligned}$$

так как $x^* \in M(A)$ и, следовательно, $\Pi(A)x^* = x^*$. Отсюда $\Pi(A)x_n - x^* = \Pi(A)x_{n-1} - x^* - \alpha_n A(\Pi(A)x_{n-1} - x^*)$. Обозначим $\omega_n = \Pi(A)x_{n-1} - x^*$, тогда $\omega_n = \omega_{n-1} - \alpha_n A\omega_{n-1} = (E - \alpha_n A)\omega_{n-1} = (E - \alpha_n A)(E - \alpha_{n-1} A) \dots (E - \alpha_1 A)\omega_0$ и, аналогично v_n , можно показать, что $\omega_n \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$. Тогда $\Pi(A)x_n \rightarrow x^*$. Следовательно, $x_n = P(A)x_n + \Pi(A)x_n \rightarrow P(A)x_0 + x^*$. Теорема 4 доказана.

Замечание 4. Так как у нас $x_0 = 0$, то $x_n \rightarrow x^*$, т. е. процесс (2) сходится к решению с минимальной нормой.

Предложенный метод может быть применен для решения задач спектроскопии, обратных задач гравиметрии и теории потенциала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канторович, Л.В. Функциональный анализ в нормированных пространствах / Л.В. Канторович, Г.П. Акилов. – М. : Физматгиз, 1959. – 680 с.
2. Лисковец, О.А. Метод простых итераций с попеременно чередующимся шагом для уравнений I-го рода / О.А. Лисковец, В.Ф. Савчук // Докл. АН БССР. – 1977. – Т. 21, № 1. – С. 9–12.
3. Лаврентьев, М.М. Теория операторов и некорректные задачи / М.М. Лаврентьев, Л.Я. Савельев. – Новосибирск : Изд-во Ин-та математики, 1999. – 702 с.
4. Самарский, А.А. Численные методы решения обратных задач математической физики / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М. : Едиториал УРСС, 2004. – 480 с.
5. Вайникко, Г.М. Итерационные процедуры в некорректных задачах / Г.М. Вайникко, А.Ю. Веретенников. – М. : Наука, 1986. – 178 с.
6. Емелин, И.В. К теории некорректных задач / И.В. Емелин, М.А. Красносельский // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 244, № 4. – С. 805–808.
7. Денисов, А.М. Введение в теорию обратных задач / А.М. Денисов. – М. : Изд-во МГУ, 1994. – 207 с.
8. Bialy, H. Iterative Behandlung Linearer Funktionsgleichungen / H. Bialy // Arch. Ration. Mech. and Anal., 1959. – Vol. 4, № 2. – P. 166–176.
9. Матысик, О.В. О регуляризации операторных уравнений в гильбертовом пространстве / О.В. Матысик // Докл. НАН Беларуси. – 2005. – Т. 49, № 3. – С. 38–43.
10. Люстерник, Л.А. Элементы функционального анализа / Л.А. Люстерник, В.И. Соболев. – М. : Наука, 1965. – 520 с.



V.F. Savchuk, O.V. Matysik. About the Iteration Method with Variable Step for Solution of the Incorrect Problems in the Hilbert Space

The iteration method for solution of the first-kind operator equations with a self-conjugated positive bounded operator in the Hilbert space is proposed. Convergence of a method is proved in case of an *a priori* choice of number of iterations in usual and energy norm of Hilbert space, estimations of an error are received. Use of energy norm allows making a method quite effective even then when there are no data about source representability of exact solution of the equation. The comparison of the error estimations of the given iteration method and the evident method of simple iteration has been done. The opportunity of the application of a rule residual stop is proved for the offered method. Convergence of a method in the case of nonuniqueness of the solution of the equation is investigated.



УДК 621.039

В.С. Костко, В.А. Плетюхов

НЕОБХОДИМОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ*

Рассматриваются вопросы деления ядер урана, цепной ядерной реакции, устройства и принципа работы ядерного реактора, АЭС, истории и мирового опыта развития ядерной энергетики, обосновывается необходимость развития ядерной энергетики и строительства атомной электростанции в Беларуси, анализируется общественное мнение о строительстве АЭС в Республике Беларусь, показано, каковы экономические и социальные эффекты развития энергетики и строительства АЭС в Беларуси

Введение

Атомная энергетика остается предметом острых дебатов. Сторонники и противники ядерной энергетики резко расходятся в оценках ее безопасности, надежности и экономической эффективности. Вместе с тем следует признать, что достаточно продолжительный отрезок времени (23 года), прошедший после Чернобыльской катастрофы, частично сгладил «чернобыльский синдром» в антиядерных настроениях людей. Прогрессирующий рост энергопотребления в стране и в мире в целом, многократный рост цен на традиционное углеводородное сырье (природный газ, нефть), ограничения, налагаемые мировой общественностью на выброс углекислого газа в атмосферу, заманчивая дешевизна электроэнергии, произведенной на атомных электростанциях, значительно возросший и безопасный уровень развития мировой ядерной энергетики свидетельствуют о необходимости развития ядерной энергетики и строительства собственной атомной электростанции в Беларуси. Для республики с динамичной экономикой, испытывающей острую нехватку собственных топливно-энергетических ресурсов, развитие ядерной энергетики имеет стратегическое значение в обеспечении энергетической безопасности и экономической независимости.

В настоящей статье рассматриваются вопросы деления ядер урана, цепной ядерной реакции, устройства и принципа работы ядерного реактора, АЭС, истории и мирового опыта развития ядерной энергетики, обосновывается необходимость развития ядерной энергетики и строительства атомной электростанции в Беларуси, анализируется общественное мнение о строительстве АЭС в Республике Беларусь, показано, каковы экономические и социальные эффекты развития ядерной энергетики и строительства АЭС в Беларуси.

Деление ядер урана

История открытия этого важного явления относится к 1934 г., когда группа, возглавляемая Энрико Ферми, облучая уран нейтронами, обнаружила новые продукты, обладающие несколькими периодами полураспада. Первоначально предполагали, что эти элементы являются трансурановыми (заурановыми). Для проверки этого предположения в 1936–1937 гг. были предприняты энергичные исследования ядерных реакций, происходящих при облучении урана нейтронами различных энергий. К удивлению ученых, исследование химических свойств продуктов этих реакций показало, что они напоминают свойства элементов, расположенных в средней части периодической системы. Так Ирэнэ Кюри и Павле Савич обнаружили среди продуктов облучения вещество, которое по своим свойствам является лантаном $_{57}\text{La}$. В 1938 г. Отто Ганн и Фриц

* статья подготовлена с использованием материалов Информационно-аналитического центра при Администрации Президента Республики Беларусь.



Штрассман весьма точным радиохимическим анализом доказали, что облучение урана нейтронами приводит к появлению химического элемента бария ${}_{56}\text{Ba}$. Таким способом было открыто искусственное деление ядер. Эти удивительные результаты были объяснены Отто Фришем и Лизой Мейтнер, которые предположили, что тяжелые ядра являются неустойчивыми. Возбужденное при захвате нейтрона тяжелое ядро может разделиться на два осколка. При этом должна наблюдаться β^- - радиоактивность и, кроме того, при делении ядра выделяется 2–3 (в среднем 2,5) нейтрона с энергией ~ 2 МэВ. Опыты, проведенные Фредериком Жолио-Кюри, обнаружили β^- - радиоактивность осколков деления и испускание вторичных нейтронов. Таким образом, процесс деления тяжелых ядер сопровождается *размножением нейтронов*. Деление ядер урана на два осколка должно сопровождаться выделением огромной энергии (порядка 200 МэВ). Оказывается, для осуществления реакции деления необходима затрата некоторого минимального количества энергии – *энергии активации деления ядра (порога деления)*. Масс-спектрометрические измерения, проведенные в 1940 г., позволили установить, что тепловые нейтроны (кинетическая энергия медленных, или тепловых, нейтронов составляет от 0,025 до 0,5 эВ) производят деление ядер изотопа урана ${}_{92}\text{U}^{235}$. Одним из примеров такого деления может быть схема с образованием ядер цезия и рубидия:



Деление ядра может происходить многими путями. Всего при делении образуется около 80 различных радиоактивных ядер-осколков, которые в процессе β -распада преобразуются в другие ядра – продукты деления. В настоящее время хорошо изучено более 60 цепочек, в составе которых обнаружено около 200 продуктов деления. Этим и объясняется достаточно большой радиоизотопный состав чернобыльского выброса.

Тепловые нейтроны вызывают также деление ядер изотопа урана ${}_{92}\text{U}^{233}$ и плутония ${}_{94}\text{Pu}^{239}$. Энергия активации, т. е. минимальная энергия, необходимая для осуществления реакции деления ядра изотопа ${}_{92}\text{U}^{238}$, а также ядер изотопов тория и протактиния, существующих в природе, составляет приблизительно 1 МэВ. Ядра этих изотопов эффективно поглощают тепловые нейтроны не испытывая при этом деления.

Цепная ядерная реакция

Для практического применения деления тяжелых ядер важнейшее значение имеет выделение большой энергии при каждом акте деления и появление двух-трех нейтронов. Если каждый из этих нейтронов, взаимодействуя с соседними ядрами, в свою очередь вызывает в них реакцию деления, то происходит *лавинобразное* нарастание числа актов деления. Такая реакция деления называется *цепной*.

В 1939 г. Я.Б. Зельдович и Ю.Б. Харитон указали на возможность существования цепной ядерной реакции деления.

Предположение о том, что каждый из вторичных нейтронов захватывается соседними ядрами, в действительности не реализуется. Часть этих нейтронов попадает в ядра тех веществ, которые непременно присутствуют в *активной зоне*, часть выходит за ее пределы. Таким образом, существуют факторы, способные оборвать развитие цепной реакции. Очевидно, что непременным условием возникновения цепной реакции является наличие размножающихся нейтронов. Таким условием является требование $k \geq 1$. Здесь k – *коэффициент размножения нейтронов* – отношение числа нейтронов данного поколения к числу нейтронов предыдущего поколения



$$k = \frac{n_{i+1}}{n_i}.$$

Для уменьшения потерь нейтронов делящееся вещество окружают *отражателем*. Отражатель возвращает в активную зону большую часть вылетевших из нее нейтронов. В качестве отражателей используют графит, тяжелую воду, бериллий.

Условие $k > 1$ соответствует ускоряющейся (развивающейся) реакции – надкритический режим. Это условие выполняется в атомной (ядерной) бомбе.

Условие $k = 1$ соответствует самоподдерживающейся реакции – критический режим, реализуется в ядерном реакторе.

Условие $k < 1$ соответствует затухающей реакции – подкритический режим (естественные условия).

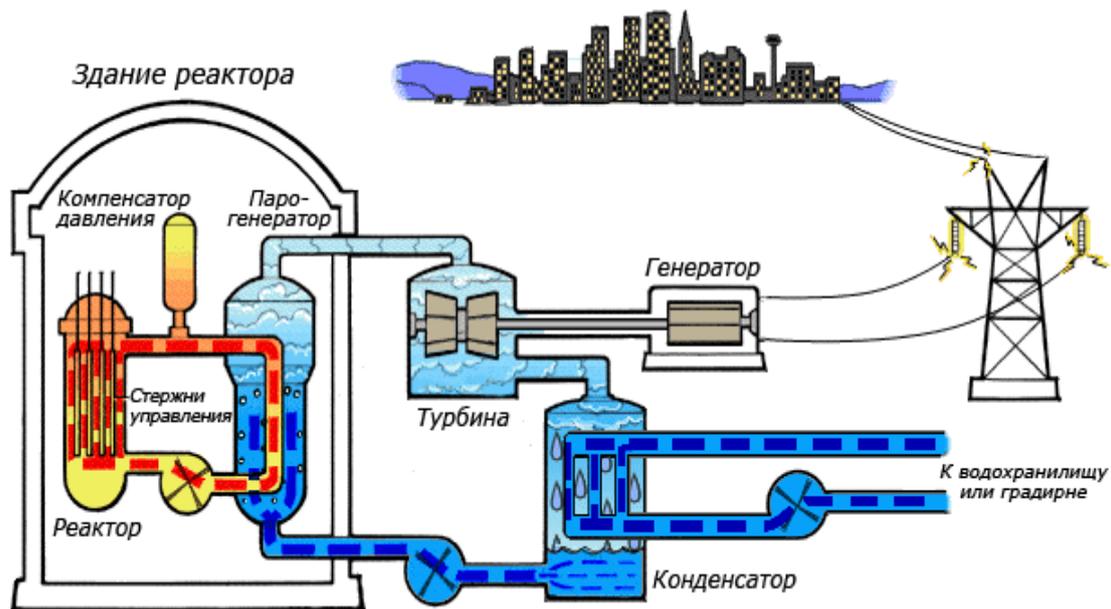


Рисунок – Ядерный реактор, АЭС

На рисунке показана схема атомной (ядерной) электростанции с двухконтурным водо-водяным энергетическим реактором. Термины «атомная энергия», «бомба» и т. п. (вместо «ядерная») прочно закрепился в лексиконе людей с подачи журналистов после испытания в США в июне 1945 г. первой ядерной бомбы. Энергоблок на атомной электростанции включает в себя реактор, парогенераторы, турбины и служит для преобразования энергии ядерного топлива в электрическую. На атомных электростанциях устанавливается, как правило, 2–6 энергоблоков, в зависимости от необходимой потребности в электроэнергии.

Основным элементом атомной электростанции является ядерный реактор – источник энергии на ядерном топливе, в котором под действием свободных нейтронов осуществляется управляемая цепная реакция деления тяжелых ядер (ядерного топлива).

В общем случае реактор представляет собой большой графитовый цилиндр, имеющий множество вертикальных каналов, в которые равномерно погружены стержни с урановым топливом (ТВЭЛы – тепловыделяющие элементы). В активной зоне одновременно делится огромное количество ядер и выделяется большое количество теп-



ловой энергии. Тепло отбирается теплоносителем – тяжелой водой, циркулирующей по топливным каналам. Энергия, выделяемая в активной зоне реактора, передается теплоносителю первого контура, который находится под высоким давлением (160 атм. и выше). Высокое давление в первом контуре позволяет в несколько раз поднять температуру кипения теплоносителя. Далее теплоноситель подается насосами в теплообменник (парогенератор), где нагревает до кипения воду второго контура. Полученный при этом пар поступает в турбины, вращающие электрогенераторы. На выходе из турбин отработанный пар поступает в конденсатор, где охлаждается большим количеством воды, поступающим из водохранилища.

Для того чтобы предотвратить бесконечное развитие цепной реакции деления и регулировать мощность реактора, в активную зону вводят стержни управления с веществом, сильно поглощающим нейтроны (бор, кадмий). Если опустить целиком все стержни управления, нейтронов, способных поддержать реакцию, становится недостаточно, и реактор останавливается.

Внутренняя металлическая оболочка реактора защищает окружающую среду и людей от радиации, а наружная предохраняет реактор от нежелательного воздействия извне. Кроме активных систем безопасности, энергоблоки нового поколения оснащены пассивными системами, для приведения которых в действие не требуется вмешательство оператора и подвод энергии. Их безопасность основана на многобарьерной защите, предотвращающей выход радиоактивных продуктов деления в окружающую среду. Первым барьером является топливная таблетка, которая задерживает 98% радиоактивных продуктов деления; второй барьер – герметичная оболочка тепловыделяющего элемента; третий – прочный корпус реактора, толщина стенок которого достигает 25 см и более; четвертый барьер – герметичная защитная оболочка, предотвращающая выход радиоактивности в окружающую среду (представляет собой конструкцию из двух концентрически расположенных прочных оболочек, одновременное повреждение которых практически исключается). Рассчитано, что реактор не пострадает в случае землетрясения, урагана, наводнения, взрыва и даже падения самолета.

Роль защитной оболочки видна из сравнения последствий двух крупных аварий на АЭС – на американской Три-Майл-Айленд (28 марта 1979 г.) и на 4-м блоке Чернобыльской АЭС (26 апреля 1986 г.). В обоих случаях вследствие ошибочных действий персонала произошло расплавление активной зоны ядерных реакторов, однако поскольку энергоблоки американских станций находились под защитной оболочкой, то авария на этой АЭС была лишь аварией на данном энергоблоке и не носила глобального характера.

Компенсатор давления представляет собой довольно сложную и громоздкую конструкцию, которая служит для выравнивания колебаний давления в контуре во время работы реактора, возникающих за счет теплового расширения теплоносителя. Давление в 1-м контуре может достигать до 160 атмосфер (ВВЭР-1000).

Помимо воды, в различных реакторах в качестве теплоносителя может применяться также расплавленный натрий или газ. Использование натрия позволяет упростить конструкцию оболочки активной зоны реактора (в отличие от водяного контура давление в натриевом контуре не превышает атмосферное), избавиться от компенсатора давления, но создает свои трудности, связанные с повышенной химической активностью этого металла.

Общее количество контуров может меняться для различных реакторов, схема на рисунке приведена для реакторов типа ВВЭР (Водо-Водяной Энергетический Реактор). Реакторы типа РБМК (Реактор Большой Мощности Канального типа) используют



один водяной контур, а реакторы БН (реактор на Быстрых Нейтронах) – два натриевых и один водяной контуры.

В случае невозможности использования большого количества воды для конденсации пара вода может охлаждаться в специальных охлаждающих башнях (градирнях), которые благодаря своим размерам обычно являются самой заметной частью атомной электростанции.

История развития ядерной энергетики

20 декабря 1951 г. ядерный реактор впервые в истории произвел пригодное для использования количество электроэнергии – в нынешней Национальной Лаборатории INEEL Департамента энергии США. Реактор выработал мощность, достаточную для того, чтобы зажечь четыре 100-ваттных лампочки.

Первая в мире атомная электростанция мощностью 5 МВт была запущена 27 июня 1954 г. в СССР в городе Обнинске Калужской области и благополучно функционировала на протяжении 50 лет. В 1958 г. была введена в эксплуатацию первая очередь Сибирской АЭС мощностью 100 МВт (полная проектная мощность 600 МВт). В том же году развернулось строительство Белоярской АЭС, а 26 апреля 1964 г. генератор первой очереди дал ток потребителям. В сентябре 1964 г. был пущен первый блок Нововоронежской АЭС мощностью 210 МВт. Второй блок мощностью 350 МВт запущен в декабре 1969 г. В 1973 г. пущена Ленинградская АЭС.

По начальному проекту Чернобыльская АЭС должна была стать самой крупной АЭС в мире и состоять из шести 1000 МВт блоков типа РБМК и шести 1500 МВт блоков типа ВВЭР. Город Припять специально планировался для строителей и работников Чернобыльской станции, причем предусматривалось, что в нем будет проживать от 150 до 200 тысяч человек. В 1970 г. были заложены первые кирпичи Чернобыльской АЭС и города Припять, а в 1977 энергоблок № 1 был сдан в эксплуатацию. В 1978 г. был пущен блок № 2, а в 1983 и 1984 гг. блоки № 3 и № 4 соответственно. В 1981 г. в 1,5 километрах к юго-востоку от станции началось строительство пятого и шестого блоков, а вдоль реки Припять был построен охлаждающий бассейн площадью 21,4 км², глубиной 5 метров для первых четырех блоков.

За пределами СССР первая АЭС промышленного назначения мощностью 46 МВт была введена в эксплуатацию в 1956 г. в Колдер-Холле (Великобритания). Через год вступила в строй АЭС мощностью 60 МВт в Шиппингпорте (США). Мировыми лидерами в производстве ядерной электроэнергии в настоящее время являются: США (788,6 млрд. кВт·ч), Франция (426,8 млрд. кВт·ч), Япония (273,8 млрд. кВт·ч), Германия (158,4 млрд. кВт·ч) и Россия (154,7 млрд. кВт·ч).

На начало 2004 г. в мире действовал 441 энергетический ядерный реактор, российское ОАО «ТВЭЛ» поставляет топливо для 75 из них. Крупнейшая в мире АЭС Касивадзаки-Карива по установленной мощности (на 2008 г.) находится в японском городе Касивадзаки префектуры Ниигата – в эксплуатации находятся семь реакторов, суммарная мощность которых составляет 8,212 тыс. МВт.

Мировой опыт развития атомной энергетики

Энергопотребление на планете растет с каждым годом при одновременном истощении разведанных сырьевых ресурсов, удорожании их добычи и транспортировки. По прогнозам, к 2030 г. мировые энергетические потребности увеличатся не менее чем на 50–60%. Наряду с ростом энергопотребления имеет место катастрофически быстрое истощение самых легкодоступных и удобных органических энергоносителей – газа



и нефти. По прогнозным расчетам, сроки их запасов сегодня – 50–100 лет. Растущий спрос на энергоресурсы неизбежно ведет к их прогрессирующему удорожанию. Нередки случаи, когда цены и квоты на важнейшие энергоносители используются в качестве рычага политического давления в международных отношениях. По данным МАГАТЭ (Международного агентства ООН по атомной энергии), более 18% электроэнергии, вырабатываемой в мире, производится на ядерных реакторах. В отличие от электростанций, работающих на органическом топливе, АЭС не выбрасывают в атмосферу загрязняющих веществ, которые негативно влияют на здоровье людей, являются причиной образования смога и разрушительно воздействуют на озоновый слой, способствуя глобальному потеплению. Ядерное топливо имеет в миллионы раз большую концентрацию энергии и неисчерпаемые ресурсы, а отходы атомной энергетики – относительно малые объемы и могут быть надежно локализованы. Один грамм урана дает столько же энергии, сколько три тонны угля. Объемы ядерных отходов, образующихся в ходе нормальной работы АЭС, весьма незначительны, причем наиболее опасные из них можно «сжигать» прямо в ядерных реакторах. Стоимость электричества, произведенного на АЭС, ниже, чем на большинстве электростанций иных типов.

В мире насчитывается около 440 ядерных реакторов общей мощностью свыше 365 тыс. МВт, которые расположены более чем в 30 странах. Только в 2000–2005 гг. в строй введено 30 новых реакторов. В настоящее время в 12 странах строится 29 реакторов общей мощностью около 25 тыс. МВт.

Авария на Чернобыльской АЭС замедлила темпы развития ядерной энергетики: некоторые страны объявили мораторий на строительство новых АЭС. Понадобилось время для повышения безопасности действующих атомных электростанций и разработки более безопасных атомных реакторов. К настоящему времени атомная энергетика успешно преодолела кризис и смогла продемонстрировать свою жизнеспособность, экологическую привлекательность и возможность безопасного и конкурентоспособного обеспечения энергопотребностей общества.

Таблица 1 – Основные генерирующие мощности, сосредоточенные в Западной Европе и США

Страна	В эксплуатации		Сооружается		Доля ядерной энергии, %
	Число ядерных блоков	Мощность МВт (нетто)	Число блоков	Мощность МВт (нетто)	
1	2	3	4	5	6
Аргентина	2	935	1	692	9,0
Армения	1	376	–	–	35,0
Бельгия	7	5757	–	–	56,0
Болгария	4	2722	–	–	40,0
Бразилия	2	1900	–	–	3,6
Венгрия	4	1755	–	–	32,7
Великобритания	27	12020	–	–	25,0
Германия	18	20643	–	–	29,0
Индия	14	2503	8	3614	3,3
Иран	–	–	1	953	–
Испания	9	7574	–	–	23,6
Канада	16	11268	–	–	13,0
КНР	8	5939	3	2475	2,0



Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Республика Корея	19	15810	1	960	40,0
Северная Корея	–	–	2	2000	–
Литва	2	2370	–	–	80,6
Мексика	2	1310	–	–	4,0
Нидерланды	1	449	–	–	4,5
Пакистан	2	425	–	–	2,3
Россия	30	20817	4	3784	16,5
Румыния	1	650	1	650	9,3
Словакия	6	2446	2	816	57,8
Словения	1	676	–	–	39,0
США	104	99096	–	–	20,0
Тайвань	6	4884	2	2630	21,5
Украина	13	11190	2	1900	45,1
Финляндия	4	2656	–	–	25,8
Франция	59	63183	–	–	77,0
Чехия	6	3494	–	–	30,5
Швейцария	5	3200	–	–	40,0
Швеция	11	9427	–	–	49,2
Южная Африка	2	1844	–	–	6,0
Япония	53	44145	4	4361	25,0

В первую пятерку государств, которые большую часть своих потребностей в электроэнергии удовлетворяют за счет АЭС, входят Литва (80,6%), Франция (77%), Словакия (57,8%), Бельгия (56%) и Швеция (49,2%). Атомные станции работают в 15 из 27 стран – членов Евросоюза и производят около трети вырабатываемой в ЕС электроэнергии. Наибольшим количеством ядерных энергоблоков располагают США (104), Франция (59), Япония (53), Россия (30) и Великобритания (27). В десятке самых богатых стран мира только Италия не имеет своих АЭС, успешно пользуясь французскими.

Сегодня в 12 странах строится 29 реакторов общей мощностью около 25 тыс. МВт. Большинство из них сооружается в азиатском регионе, потребности которого в электричестве оказывают мощное воздействие на процессы, происходящие на энергетическом рынке. Seriously рассматривают развитие атомной энергетики и ряд других государств, не имевших до сих пор собственной атомной программы: Италия, Польша, Турция, Египет, Марокко, Чили, Нигерия, Бангладеш, Индонезия, Вьетнам, Таиланд, Австралия, Новая Зеландия.

Чем вызвана необходимость развития атомной энергетики и строительства атомной электростанции в Беларуси

Решение о строительстве атомной электростанции зависит от многих факторов. Определяющими среди них являются экономическая целесообразность и технические возможности развития атомной энергетики в стране.

В Республике Беларусь, наиболее пострадавшей в результате аварии на Чернобыльской АЭС, вопросу экономического и технического обоснования строительства атомной электростанции придается особое значение. О необходимости возведения в Беларуси собственной АЭС специалисты заговорили еще в начале 1997 г. С тех пор исследования на эту тему практически не прекращались. Каковы же основные аргументы сторонников строительства атомной электростанции? Для Беларуси – страны, имеющей динамичную экономику и в то же время испытывающей острую нехватку собственных топливно-



энергетических ресурсов, развитие атомной энергетики имеет стратегическое значение в обеспечении энергетической безопасности и экономической независимости.

В Республике Беларусь доля импортируемых энергоресурсов составляет сегодня около 85%. Практически весь потребляемый в стране газ, а также большая часть нефти завозятся из одного государства – Российской Федерации. Зависимость от единственного поставщика подрывает энергетическую безопасность республики. Кроме того, на оплату импортируемых энергоресурсов расходуется значительная часть бюджета государства. Строительство собственной атомной электростанции позволит снизить зависимость от импорта энергоресурсов и обеспечить республику относительно дешевой электроэнергией. По расчетам Национальной академии наук Беларуси, введение в энергобаланс АЭС суммарной электрической мощностью 2 тыс. МВт позволит удовлетворить около 25% потребности страны в электроэнергии и приведет к снижению ее себестоимости на 13% за счет сокращения затрат на топливо.

В соответствии с целевыми установками социально-экономического развития Республики Беларусь, определенными в программных документах, до 2015 г. объем валового внутреннего продукта в нашей стране должен возрасти более чем в 2 раза. Такое увеличение ВВП не может не вызвать роста потребления электроэнергии. В этих условиях Беларуси экономически целесообразно включить в энергобаланс атомную энергетику, которая вполне может стать конкурентоспособной по отношению к использующей органическое топливо традиционной энергетике. При отказе от развития атомной энергетики основной упор в удовлетворении растущих потребностей народного хозяйства в энергии придется делать на наращивание строительства ТЭЦ и ГЭС. А это неизбежно приведет к большему загрязнению атмосферы вредными веществами, накоплению в ней избыточного количества углекислого газа, значительному росту финансовых затрат.

На совещаниях по вопросам повышения энергетической безопасности и проведения подготовительных работ по строительству атомной электростанции, состоявшихся в 2006–2007 гг., Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко в целом поддержал предложения ученых по возведению в Беларуси собственной атомной электростанции. Глава государства отметил, что решение о строительстве белорусской АЭС продиктовано не политическими амбициями, а необходимостью обеспечить энергетическую безопасность страны в условиях истощения мировых запасов газа и нефти, перебоев с поставками и все возрастающих цен на энергоресурсы.

Политическое решение о строительстве в Беларуси собственной атомной электростанции было принято 15 января 2008 г. на заседании Совета Безопасности Республики Беларусь. В своем выступлении глава государства назвал три главных аргумента в пользу этого: экономическая целесообразность, наличие в республике подходящих территорий для размещения атомной электростанции, отсутствие технических препятствий для включения станции в энергосистему страны.

31 января 2008 г. Президент Республики Беларусь подписал постановление Совета Безопасности № 1 «О развитии атомной энергетики в Республике Беларусь». В соответствии с принятым решением в стране будет осуществлено строительство атомной электростанции суммарной электрической мощностью 2 тыс. МВт с вводом в эксплуатацию первого энергетического блока в 2016 г., второго – в 2018 г.

Первый и очень важный шаг подготовительного этапа – выбор площадки для размещения АЭС, территории, на которой разместятся основные и вспомогательные здания и сооружения (промышленная площадка), а также расположенные за пределами промышленной зоны объединенные распределительные устройства, внешние гидросо-



оружения, очистные сооружения, база стройиндустрии, жилой поселок. Для выбора безопасной площадки атомной станции был проведен обширный комплекс исследовательских и проектно-изыскательских работ. Инженерные изыскания и исследования осуществлены во всех регионах республики более чем на 50 площадках. Из этого числа госкомиссия рекомендовала как основную площадку Островецкую (Гродненская обл.). Две другие площадки: Краснополянская и Кукшиновская (обе в Могилевской области) определены как резервные. Островецкая площадка расположена в Островецком районе Гродненской области, на севере страны. Расстояние до Минска составляет 134 километра, до районного центра Островец – 18 километров, до границы с Литвой – 20 километров. Стоимость проекта, по предварительным оценкам, составит 5–6 миллиардов долларов.

Общественное мнение о строительстве АЭС в Республике Беларусь

Вопрос о развитии в нашей стране ядерной энергетики не является новым. В соответствии с Энергетической программой СССР, принятой в 1983 г., предполагалась переориентация республики на атомную энергетику. В 1980-е гг. было начато строительство Минской атомной электростанции, планировалось сооружение Белорусской АЭС. Однако чернобыльская трагедия привела к закрытию программы развития в Беларуси ядерной энергетики. Главным фактором сворачивания этой программы стали антиядерные настроения населения в СССР и за рубежом.

После техногенной катастрофы на Чернобыльской АЭС прошло 23 года. Многократно выросли цены на углеводородное сырье. Мировая атомная энергетика вышла на новый, значительно более высокий и безопасный уровень развития. Эти и другие факторы привели к изменению отношения людей к развитию атомной энергетики. Согласно опросу, проведенному Всероссийским центром изучения общественного мнения в сентябре 2007 г., 59% россиян считают, что нужно развивать атомную энергетику. 83% американцев, живущих вблизи АЭС, положительно относятся к ядерной энергетике, а 76% не возражают против строительства нового энергоблока рядом с местом их проживания.

Институтом социологии Национальной академии наук Беларуси с 2005 г. проводится социологический мониторинг отношения населения республики к возможным путям развития энергетики страны, в том числе ядерной. Исследования свидетельствуют о том, что в общественном мнении нашей страны набирает силу тенденция, связанная с ростом поддержки развития атомной энергетики. В 2005 г. на вопрос «Должна ли Беларусь иметь и развивать ядерную энергетику?» получены следующие ответы: «да» – 25,8%, «нет» – 46,7%, «еще не думали об этом» – 25%. Очевидно, что ядерная энергетика по-прежнему ассоциировалась с угрозами и рисками, вызванными чернобыльской катастрофой. В последнее время «чернобыльский синдром» постепенно преодолевается, о чем свидетельствуют результаты аналогичного республиканского опроса, проведенного в декабре 2007 г. – январе 2008 г. Так, уже 54,8% респондентов на вопрос «Должна ли Беларусь иметь и развивать ядерную энергетику?» дали положительный ответ, 23% – отрицательный.

Экономические и социальные эффекты развития атомной энергетики (строительства АЭС) в Беларуси

Собственная АЭС позволит решить ряд стратегически важных задач:



1. Будут обеспечены дополнительные гарантии укрепления государственной независимости и экономической безопасности Беларуси. Возведение атомной электростанции позволит снизить потребность государства в импортных энергоносителях почти на треть.

2. Будет снижен уровень использования природного газа в качестве энергоресурса. Его доля в топливно-энергетическом балансе республики составляет сейчас более 60%. Природный газ является основным видом топлива для производства электроэнергии и тепла. Ввод в действие АЭС в Беларуси приведет к экономии около 4,5 млн. м³ газа в год. Включение в топливно-энергетический баланс республики ядерного топлива даст также возможность создать гарантированный запас топлива для энергогенерирующей установки на длительное время.

3. Строительство АЭС в Беларуси рассматривается как вариант диверсификации поставщиков и видов топлива в топливно-энергетическом балансе республики. Практически все энергоресурсы импортируются в настоящее время из одной страны – Российской Федерации. Включение в топливно-энергетический баланс ядерного топлива значительно повысит надежность энергоснабжения государства.

Основным сырьем для производства топлива для ядерной энергетики является урановая руда. Общий объем разведанных запасов урана в мире весьма значителен, он обеспечивает перспективные потребности атомной энергетики на сотни лет вперед.

Сегодня добычей урана занимаются Канада, ЮАР, США, Намибия, Австралия, Франция, Габон, Россия, Казахстан и другие страны. К числу крупнейших производителей урана относятся также Аргентина, Бразилия, Бельгия, Индия и Португалия. Таким образом, имеется потенциальная возможность закупки урана в разных государствах и диверсификации поставщиков ядерного топлива.

4. Атомная энергетика открывает новые возможности для развития экономики Беларуси. Строительство АЭС будет способствовать развитию современных наукоемких ядерных и сопутствующих неядерных технологий. Выполнение заказов для атомной станции позволит поднять технический, технологический уровень промышленных предприятий и повысить квалификацию кадров.

5. Строительство АЭС будет способствовать экономическому и социальному развитию региона ее размещения. Повысится качество жизни населения. Улучшится демографический состав, образовательный и культурный уровень людей.

6. Опыт, приобретенный при строительстве АЭС, в перспективе даст возможность использовать промышленный и кадровый потенциал страны при возведении объектов ядерной энергетики как в республике, так и за рубежом.

7. Введение в энергобаланс АЭС снизит выбросы парниковых газов в атмосферу. Уменьшение использования органического топлива (прежде всего – природного газа) приведет к сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу на 7–10 млн. тонн в год.

V.S. Kostko, V.A. Pletyukhov. Necessity and Perspectives of the Development of Nuclear Energy in Belarus

The questions of uranium nuclear fission, chain nuclear reaction, the device and principle of work of nuclear reactor, APP, the history and world experience of nuclear energy development are considered, the necessity of nuclear energy development and construction of nuclear power station in Belarus is proved, public opinion on the construction of atomic power station in Belarus is analyzed and it is shown which are economic and social effects of energy development and APP construction in Belarus.



УДК 59

И.В. Абрамова, В.Е. Гайдук

ЭКОЛОГИЯ БЕЛОГО АИСТА *CICONIA CICONIA L.* (*CICONIIDAE, CICONIIFORMES*) В ЮГО-ЗАПАДНОЙ БЕЛАРУСИ

Белый аист в Беларуси – обычный гнездящийся перелетный и транзитно мигрирующий вид. Распространен на всей территории. Период размножения продолжается около 3,5 месяцев (вторая половина апреля – июль). В полной кладке 2–5 яиц. Птенцы появляются в первой–второй декадах июня, летные молодые – во второй–третьей декадах июля. Численность белого аиста в 1998–2008 гг. в регионе оценивается в 5,5 тыс. пар.

Материал и методы

Материал по экологии белого аиста был собран в 1967–2008 гг. в различных районах Брестской области (Брестский, Березовский, Ганцевичский, Жабинковский, Ивацевичский, Каменецкий, Малоритский, Пинский, Столинский и др.). Географические координаты крайних точек области: 51°30' – 53°24' с.ш., 23°11' – 27°37' в.д. Количество собранного материала указано в таблицах и тексте. При изучении экологии вида применяли общепринятые методы полевых и камеральных исследований. В работе использованы сведения студентов и выпускников биологического и географического факультетов БрГУ имени А.С. Пушкина и орнитологов-любителей, за что авторы выражают им благодарность.

Результаты исследований

Белый аист в Беларуси обычный гнездящийся перелетный и транзитно мигрирующий вид [1; 2].

Ареал разорванный, охватывает большую часть Палеарктики. Беларусь входит в область распространения вида. В регионе встречается чаще, чем в других областях республики. Зимует в южной и восточной Африке, южной Азии.

Места обитания. Населяют открытые территории, обычно расположенные вблизи водоемов и болот, поселения человека.

Миграции. В юго-западную Беларусь в последние 40 лет белый аист прилетал во второй декаде марта – первой декаде апреля (рисунок), в среднем 28.03. Такие примерно сроки приводят другие зоологи [3]. Прилет белого аиста происходит при прогрессирующем увеличении продолжительности светлого времени суток от 11 ч. 30 мин. до 12 ч. 40 мин. и средней декадной температуры воздуха от +0,6°C до +4,5°C.

В Беловежскую пушу в 1948–1969 гг. птицы прилетали 18.03–9.04, в среднем 30.03 [4]. Более ранние сроки прилета (22.03) аистов в Беловежскую пушу приводят А.В. Федюшин и М.С. Долбик [2]. По данным Д.Н. Кайгородова [5], изохроны прилета птиц идут примерно параллельно линиям мартовских изотерм. Он вычислил средние сроки прилета для зон (5° долготы × 2,5° широты) для европейской части России. Было установлено, что скорость движения аистов составляет в среднем 60 км в день.

По нашим данным, сроки прилета белого аиста в регион по мере движения на 1° широты с юго-запада на северо-восток области сдвигаются на 2–3 дня. Осенняя миграция, наоборот, происходит на столько же дней раньше.

Отлет и пролет аистов в регионе происходит во второй–третьей декадах августа, в среднем 22.08, при прогрессирующем сокращении длительности светлой части суток



и уменьшении температуры воздуха. Отдельные особи и группы встречаются в сентябре (рисунок). Накануне миграций и во время миграций стаи птиц по 8–20 и более встречаются на лугах, полях, опушках леса, поселениях человека. Такие стаи ($n = 160$) мы регистрировали в Брестском, Березовском, Ивацевичском, Каменецком, Малоритском, Ганцевичском, Столинском и других районах. В октябре птицы нам не встречались.



Рисунок – Биоритмы миграций и размножения белого аиста в регионе

Размножение. Первыми на гнездовой участок прилетают самец, самки на 3–4 дня позже. Каждая пара занимает прошлогоднее гнездо или строит новое. Белые аисты устраивают гнезда в поселениях человека, на крышах домов и других хозяйственных постройках, различных технических сооружениях (столбах ЛЭП и телеграфных), на деревьях недалеко от сырых лугов, полей, выгонов, речных долин, болот, водохранилищ, озер, рыбхозов. Птицы гнездятся обычно одиночными парами, известны и групповые поселения из 4–10 и более пар.

Из 1 676 гнезд, исследованных в середине прошлого столетия в Брестской области, 66,7% были построены на строениях и 33,3% – на деревьях (большинство гнезд аисты устраивают на дубах и липах, затем на тополях, соснах и березах) [6].

В 1980–2008 гг. в регионе нами обследовано 1 446 гнезд, из которых 35,4% было построено на столбах ЛЭП, 6 – на телеграфных столбах, 38,6 – на крышах домов и сараев, 4 – на водонапорных башнях, 16% – на деревьях (в том числе на ольхе – 22,5%, сосне – 20,5, дубе – 20, тополе – 15, березе – 8, липе – 8 и других деревьях – 6%). Таким образом, количество гнезд, построенных на деревьях, значительно сократилось.

Исследования И. Самусенко в пойме р. Припять от г. Пинска до г. Петрикова [7; 8] показали, что большая часть гнезд на восточном участке была расположена на столбах ЛЭП (в 1999 г. – 57,5%, в 2004 г. – 59,1%), на центральном участке – соответственно 21,5 и 31,5%. Это можно объяснить тем, что сокращается количество удобных для гнездования отдельно стоящих деревьев подходящей архитектоники, домов и сараев с тростниковыми и соломенными крышами (в связи с заменой их на шиферные и ме-



таллические), уменьшается число устанавливаемых искусственных платформ на деревьях и домах. Например, в д. Мохро в середине июля 2004 г. на телеграфных столбах было зарегистрировано 36 гнезд, в которых было по 3 птенца, и 4 гнезда по 4 птенца. Некоторые данные о кладках белого аиста и сроках развития птенцов приведены в монографии А.В. Федюшина и М.С. Долбика [2].

Сооружение нового гнезда продолжается около 8 дней. Гнезда ($n = 80$) аисты строят из сучьев и веток древесных и кустарниковых растений, употребляют для выстилки лотка сухие стебли травянистых растений, старые тряпки, обрывки бумаг, перья и другие материалы. Гнезда представляют собой массивные сооружения, особенно те, которые птицы занимают в течение многих лет и постоянно надстраивают. Размеры гнезд ($n = 26$): высота гнезда 42–120 см, в среднем $81 \pm 3,4$; глубина лотка 8–14 см, в среднем $10,8 \pm 0,8$; диаметр гнезда 80–260 см, в среднем $140 \pm 4,2$; диаметр лотка 35–41 см, в среднем $38 \pm 0,6$.

К откладке яиц птицы приступают в третьей декаде апреля – первой декаде мая (рисунок). Откладка яиц происходит с интервалом 2–3 дня. В кладке ($n = 26$) 2–5 яиц, в среднем $3,8 \pm 1,5$ (таблица 1). Средние размеры яиц ($n = 20$) $72,7 \pm 0,3 \times 52,3 \pm 0,3$ мм. Размеры гнезд, кладок и яиц сходны с литературными данными по Беларуси [1; 2].

Таблица 1 – Размеры и состояние кладок белого аиста

Месяц	Декада	Кол-во яиц в кладке и степень их насиженности	Регион, кол-во кладок
Май	I	3, 4, 5	г. Брест – 7;
	II	2, 3, 3 по 3?, 2 по 4, 5 по 4?, 5?	Брестский р-н: д. Томашовка, Орхово, Комаровка – 14;
	III	2, 2 по 3в, 2 по 3?, 4в, 4г, 4 по 4?, 5?	Ивацевичский р-н: д. Любищцы – 64;
Июнь		4?, 5?	Каменецкий р-н: Беловежская пуща – 3

Примечание – n – свежая кладка; v – сильно насиженная кладка; $г$ – яйца проклюнуты; $n?$ – степень насиженности неизвестна

Птицы приступают к насиживанию обычно после откладки второго яйца. Насиживают кладку самец и самка в течение 30–34 суток. В гнезде ($n = 18$) птенцы находятся 54–63 суток и покидают его во второй–третьей декадах июля (рисунок). Примерно 15–17 дней после вылета родители кормят молодых. В возрасте 70 суток молодые птицы становятся самостоятельными.

В 1982–2008 гг. выявлен ряд случаев выбрасывания из гнезд яиц ($n = 14$), одного или двух птенцов ($n = 12$) и всех птенцов ($n = 2$) в районе учебной полевой практики по биологии БрГУ имени А.С. Пушкина (д. Томашовка, Орхово, Комаровка). В Беловежской пуще в 1950–1957 гг. около 30% пар аистов выбрасывали яйца и птенцов из гнезд [2; 9]. Эта реакция взрослых птиц на недостаток корма и невозможностью прокормить всех или часть птенцов.

Не все пары аистов гнездятся. Впервые птицы приступают к гнездованию в трехлетнем возрасте, а некоторые иногда даже в возрасте шести лет, небольшое количество – в возрасте двух лет.



В гнездах ($n = 301$), обследованных в 1970–2008 гг., находилось от 1 до 5 птенцов разного возраста, в среднем 3,3 (таблица 2). Нами изучен репродуктивный успех отдельных пар белого аиста, который составил 2,3–2,9, в среднем 2,6 птенцов на размножающую пару, и 2,6–3,4, в среднем 3,0 птенца на успешную пару (таблица 3).

Таблица 2 – Количество птенцов белого аиста в гнезде (выводке) и степень их развития

Месяц	Декада	Кол-во птенцов и степень их развития	Регион, местообитание, кол-во выводков
Июнь	I	4 по 2, 8 по 3, 9 по 3?, 8 по 4, 8 по 4?, 2 по 5, 5?	Каменецкий р-н: Беловежская пуца – 18; г. Брест и его окрестности – 30; Брестский р-н: дд. Томашовка, Орхово, Комаровка, Селяхи, Приборово, Леплевка – 160;
	II	1д, 3 по 2д, 2 по 2д, 3 по 2?, 6 по 3д, 6 по 3е, 10 по 3?, 8 по 4д, 5 по 4д, 7 по 4?, 4 по 5д, 3 по 5д, 4 по 5?	
	III	2 по 2е, 4 по 2е, 5 по 2?, 3 по 3д, 4 по 3ж, 6 по 3?, 3 по 4е, 4 по 4ж, 7 по 4?, 3 по 5д, 4 по 5ж, 4 по 5?	
Июль	I	2 по 2е, 8 по 2ж, 6 по 2?, 8 по 3е, 14 по 3ж, 5 по 3?, 2 по 4д, 10 по 4ж, 8 по 4?, 2 по 5ж, 5?	Кобринский р-н: д. Пески – 20; Ивацевичский р-н: д. Любищицы, Подстарынь – 62; Ивановский р-н: д. Завишье – 11
	II	9 по 2 ж, 3 по 2?, 8 по 3ж, 5 по 3?, 4е, 4 по 4ж, 6 по 4?, 5е, 3 по 5ж, 4 по 5?	
	III	1з, 8 по 2з, 2 по 2?, 10 по 3з, 7 по 3?, 4 по 4з, 2 по 4?, 3 по 5з, 5?	

Примечание – п – пуховые птенцы; д – птенец в пеньках; е – полуоперенные птенцы; ж – оперены почти полностью; з – подлетки или слетки; п? – возраст птенцов неизвестен

Исследование размножения белого аиста в Брестском районе в 2001 г. (106 гнезд) и в 2005 г. (80) показало, что в первом случае число вылетевших птенцов составило 2,7, во втором – 2,8 на гнездящуюся пару. Репродуктивный успех у успешных пар был несколько выше (соответственно 2,8 и 3,1 птенца на пару). Отметим, что эти показатели для популяции белого аиста в пойме р. Припять в 1996 г. были равны в среднем 2,8 и 3,16, в 2004 г. – 3,32 и 3,25 птенцов [8].

Питание. Судя по визуальным наблюдениям ($n = 188$), погадкам ($n = 85$) и литературным данным [2; 8; 9], белый аист является полифагом. Птицы добывают мелких позвоночных (рыбу, лягушек, ящериц, птиц и их птенцов, микромаммалий) и беспозвоночных животных. По данным Крапивного (цит. по [2]), в пищевом рационе белого аиста в Беловежской пуце ведущее место занимают беспозвоночные (86,2%), из позвоночных птицы добывают амфибий, рептилий и млекопитающих. В пойме р. Припять, по результатам анализа 448 погадок, беспозвоночные животные составляли 98% общего числа пищевых объектов аиста и 67% биомассы, позвоночные соответственно 2 и 33%. Долевое соотношение беспозвоночных и позвоночных животных в кормовом спектре питания варьировало в зависимости от сезона. В мае позвоночные составляли 9,2%, в июле – 70,3% [8].

Птицы кормятся (458 наблюдений) на лугах (71,6%), полях (16,4%), в прибрежной полосе различных водоемов (12%). В долине р. Припять белые аисты значительно



чаще (84,7%) добывали корм на пойменных лугах и реже – в прибрежной полосе водоемов и на возделываемых полях [8].

Таблица 3 – Репродуктивные параметры отдельных гнезд белого аиста

Регион	Годы	а	б	в	г	д
г. Брест, микрорайон Ковалево	1977–2008	30	24	6	2,3	2,6
г. Брест, микрорайон Восток	1972–1986	14	12	2	2,4	2,4
Брестский р-н: д. Орхово	1982–2008	26	22	4	2,6	3,2
д. Томашовка	1982–2008	26	21	5	2,6	2,8
	1982–2008	26	20	6	2,7	3,1
д. Комаровка	1982–2008	25	18	7	2,9	3,1
	1982–2008	25	20	5	2,8	3,1
	1990–2005	14	10	4	2,7	2,9
Ивацевичский р-н д. Любищицы	1975–2008	32	28	4	2,6	3,4
	1975–2008	32	27	5	2,8	3,0
Всего		250	202	48	2,6	3,0

Примечание – а – число гнездящихся пар (занимающих гнезда не менее 1 месяца); б – число успешных пар (с вылетевшими из гнезда птенцами); в – число неуспешных пар (гнезда занимали, но птенцы из гнезда не вылетели); г – среднее число вылетевших птенцов, рассчитанное для гнездящихся пар; д – среднее число вылетевших птенцов, рассчитанное для успешно гнездящихся пар

Численность белого аиста в Беларуси и регионе в последние 50 лет изучалась рядом орнитологов. Первый анкетный учет птиц в Беларуси проводился в 1957–1958 гг. Было зарегистрировано 2 967 жилых гнезд птиц [2]. По сведениям корреспондентов, в 1967 г. количество гнезд белого аиста составило 7 467, в том числе в Брестской области – 1 950 [6]. Отметим, что только в Брестской области было охвачено учетом 10 административных районов, 479 населенных пунктов, в том числе 411, в которых были гнезда аистов. По данным IV Международной переписи в 1984–1985 гг., численность белого аиста в Беларуси составила 10 337 пар (в том числе 9 369 размножающихся и 968 пар, посещавших гнезда), в Брестской области – 3 414 пар [10]. Во время национального учета птиц в 1995–1996 гг. в рамках V Международного учета белых аистов было учтено 11 807 гнездящихся пар, из которых 97% успешно вывели птенцов. Плотность гнездования вида составила 5,7 пар/100 км² [8].

Территория Беларуси условно разделена на 3 региона с различной плотностью гнездования белого аиста: южные и юго-западные районы с высокой плотностью, центральные – со средней плотностью, северные и северо-восточные районы, где аисты обычны, а кое-где и редки.

Наибольшая плотность летнего населения белого аиста в Брестской области отмечена в Пинском (17,1 пары/на 100 км²), Столинском (14,6) и Лунинецком (12,5) районах [8].

Во время проведения национального учета в рамках VI Международной переписи белого аиста 2004–2005 гг. исследования были проведены в ряде районов Брестской области. В 135 поселениях человека в Беловежской пуще и ее окрестностях было выяв-



лено 336 гнезд, из них 78% были заняты птицами. В исследованных гнездах ($n = 220$) было обнаружено 558 птенцов, в среднем 2,5 [11]. В Каменецком районе, включая территорию Беловежской пуши, было отмечено 442 гнезда белого аиста, 56 гнезд не были заняты птицами. У 89,6% гнездившихся пар (из 386) были вылетевшие из гнезд птенцы [12]. В Брестском районе было учтено 232 гнезда белого аиста, из которых 207 были жилыми, птенцы вылетели из 92,2% гнезд (Фенчук, Богданович, учетные данные). В Кобринском районе выявлено 519 гнезд, из них 81,3% были заняты птицами. Всего был выращен 801 птенец, в среднем 1,9 птенца на 1 гнездо [11].

В 1990–2007 гг. в ходе проведения учетов птиц в различных экосистемах юго-запада Беларуси плотность летнего населения белого аиста в прибрежных биоценозах р. Гривда составила 7,2 ос./км²; р. Мухавец – 5,4; р. Лесная – 4; оз. Селяхи – 0,5; оз. Завищанское – 0,2; оз. Ореховское – 2,4; оз. Олтушское – 1,4; вдхр. Локтыши – 1; вдхр. Луковское – 2,6; рыбхоз Страдочь – 1,2; рыбхоз Локтыши – 2,4; в г. Бресте в пойменных экосистемах р. Мухавец – 5,7; в старой индивидуальной застройке – 8,5; в г. Ивацевичи – 4,5; средних селах (Томашовка, Комаровка, Орхово) – 10,2; селах центрального Полесья (д. Любищицы) – 8,6; на полях (Брестский р-н) – 7; пойменных лугах (р. Лесная) – 5,4 ос./км² [13].

На прилегающих к региону территориях, в пойме украинской части Припяти численность белого аиста в 1981–1989 гг. составила 750–800 гнездящихся пар, в 1990–1997 гг. – 375–516, т. е. сократилась примерно в 2 раза [14].

Численность белого аиста в Беларуси в конце XX в. оценивалась в 10,5–13 тыс. пар [1], в регионе – в 4–6 тыс. пар. По последним данным [11], в Беларуси обитает около 21 тыс. пар, в Брестской области – 5 874 гнездящихся пар. По нашей оценке, численность белого аиста в регионе – 5,5 тыс. пар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров, М.Е. Птицы Беларуси на рубеже XXI века / М.Е. Никифоров [и др.]. – Минск : Издатель Н.А. Королев, 1997. – 188 с.
2. Федюшин, А.В. Птицы Белоруссии / А.В. Федюшин, М.С. Долбик. – Минск : Наука и техника, 1967. – 519 с.
3. Шокало, С.И. Сроки прилета и отлета белого аиста в юго-западной Беларуси / С.И. Шокало, Б.И. Шокало // Аисты: распространение, экология, охрана : материалы II и III Всесоюзн. совещ. рабоч. группы по аистам ВОО. – Минск, 1992. – С. 162–164.
4. Дацкевич, В.А. Сезонное развитие явлений природы в Беловежской пуше (1946–1969) / В.А. Дацкевич // Заповедники Белоруссии. – Минск : Ураджай, 1977. – Вып. 1. – С. 5–23.
5. Кайгородов, Д.Н. Изохроны хода весеннего поступательного движения кукушки (*Cuculus canorus* L.), грача (*Tyrannosaurus fugilegus* L.) и белого аиста (*Ciconia alba* Briss.) по территории Европейской России / Д.Н. Кайгородов // Орнитологический вестник. – 1911. – № 1. – С. 38–40.
6. Долбик, М.С. Ландшафтная структура орнитофауны Белоруссии / М.С. Долбик. – Минск : Наука и техника, 1974. – 312 с.
7. Самусенко, И.Э. Мониторинг крупнейшей в Беларуси колонии цапель и бакланов (заказник «Устье-Лани») / И.Э. Самусенко // Беловежская пуша – на рубеже третьего тысячелетия : материалы науч.-практ. конф., п. Каменюки, 22–24 декабря 1999 г. / редкол.: А.И. Лучков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 1999. – С. 339–340.



8. Самусенко, И.Э. Популяционный мониторинг белого аиста (*Ciconia ciconia*) в пойме р. Припять / И.Э. Самусенко, М.М. Козел // Subbuteo. Беларускі арніталагічны бюлетэнь. – 2004. – Т. 7. – С. 1–9.
9. Голодушко, Б.З. К биологии белого аиста // Тр. запов.-охот. хоз. «Беловежская Пуща». – Вып. 1. – Минск : Минис. сельск. хоз-ва БССР, 1958. – С. 110–119.
10. Самусенко, И.Э. Распространение белого аиста в Белоруссии / И.Э. Самусенко // Всесоюзное совещание по проблеме кадастра и учета животного мира : тезисы докл. / редкол.: В.Е. Соколов (отв. ред.) [и др.]. – Уфа, 1989. – Ч. 3. – С. 202–203.
11. Самусенко, И.Э. Анализ опыта проведения национальных учетов численности белого аиста в Беларуси; новые подходы, оценки и перспективы / И.Э. Самусенко // Современное состояние растительного и животного мира стран Еврорегиона «Днепр», их охрана и рациональное использование : материалы Межд. науч.-практ. конф., Гомель, 14–16 ноября 2007 г. / редкол.: А.Н. Кусенков (отв. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ, 2007. – С. 263–270.
12. Пракапчук, В.В. Вынікі ўлікаў белага бусла (*Ciconia ciconia*) на Камянеччыне ў 2004 г. / В.В. Пракапчук // Прыроднае асяроддзе Полесься: асаблівасці і перспектывы развіцця : тэзісы дакл. III Міжнар. навук. канф., Брэст, 7–9 чэрвеня 2006 г. / рэдкал.: М.В. Міхальчук (адк. рэд.) [і інш.]. – Брэст, 2006. – С. 147.
13. Абрамова, И.В. Структура и динамика населения птиц экосистем юго-запада Беларуси / И.В. Абрамова. – Брест : Изд-во БрГУ, 2007. – 208 с.
14. Горбань, И.М. Значение верхней Припяти (Украина) для охраны птиц / И.М. Горбань, М. Фладе // Экология и охрана пойм и низинных болот Полесья : доклады Междунар. науч. конф., Минск, 21–24 мая 1997 г. – Минск, 2000. – С. 32–39.

I.V. Abramova, V.E. Gaiduk. The Ecology of White Stork *Ciconia ciconia* L. (Ciconiidae, Ciconiiformes) in the South-west of Belarus

The white stork is a usual nesting passage and transmigrating species in the south-west of Belarus. Nesting season lasts about 3,5 months (in the second half of April – July). In the total laying there are 2–5 eggs. Nestlings appear in the first–second decades of June. The lay nestlings are in the second–third decades of June – July. The number of white stork in 1998–2008 years estimated 5 500 nesting pair in the region.



УДК 581+581.1+581.9+582.688.3

С.В. Зеркаль, Ю.В. Бондарь

К ВОПРОСУ ОБ ИНТРОДУКЦИИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА RHODODENDRON L. В УСЛОВИЯХ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ

Изучена проблема интродукции четырех видов рода *Rhododendron* L. – *Rh. davidsonianum* Rehd. et Wils., *Rh. japonicum* (A. Gray) Suring., *Rh. catawbiense* Michx., *Rh. smirnowii* Trautv. и проведен сравнительный анализ климатических условий естественных ареалов видов, а также районов их массовой интродукции, что в дальнейшем позволит более рационально подходить к выбору видового состава, наиболее оптимальному к региону юго-запада Беларуси.

Сохранение и рациональное использование растительных ресурсов – приоритетное направление развития общества. В последние годы озеленению городов и населенных пунктов в Беларуси уделяется особое внимание на государственном уровне в связи с решением задач по улучшению экологии и эстетики жизни людей. Велика «армия» любителей цветов в нашей стране. Сегодня мало найдется деревенских или городских приусадебных и дачных участков без декоративных растений. Большинство из них – интродуценты [5; 3].

В интродукционном процессе выделяют три основных этапа: интродукция, акклиматизация и натурализация. Под термином «интродукция» следует понимать введение в культуру (человеком) дикорастущих растений в новые географические области и регионы, в которых эти виды ранее не встречались, и в этом смысле интродукционный метод рассматривается как метод изучения растений в новых для них условиях произрастания.

Следующим этапом является акклиматизация, или приспособление растений к новым почвенно-климатическим условиям, сопровождающееся у них структурно-функциональными перестройками (преадаптации и адаптации) на клеточном и организменном уровнях. Однако большинство авторов все же понимает под акклиматизацией активное вмешательство человека в перестройку растения в новых условиях существования, т. е. считает акклиматизацию областью деятельности человека, методом его работы. И наиболее правильным надо считать определение, данное великим преобразователем природы И.В. Мичуриным: совокупность приемов, которыми человек действует быстрейшему и успешному прохождению акклиматизационного процесса у растений, вновь вводимых в культуру [1; 15].

Заключительным этапом интродукционного процесса, определяющим его успешность, является натурализация, или, как ее понимал А. Декандоль, занимавшийся вопросами интродукции и акклиматизации растений, высшая степень акклиматизации, при которой растение настолько приспосабливается к новым условиям, что может самостоятельно размножаться, дичает и не уступает местным видам в борьбе за существование [1; 15].

Введению новых видов и сортов растений в культуру предшествует комплексное сравнительное изучение их эколого-биологических особенностей в новых условиях произрастания. Только по результатам этой работы можно давать научно обоснованные рекомендации о перспективности того или иного растения для культивирования в регионе [5; 4].



Методы оценки результатов интродукции также неоднозначны. Это обусловлено тем, что в различных климатических зонах критерии оценки разные: в одних решающее значение будет играть засухоустойчивость видов, а в других зонах – их холодостойкость. В настоящее время результаты интродукции следует оценивать не только как адаптацию отдельных видов, но также необходимо учитывать более глобальные последствия интродукции, а именно: изменение ареалов; роль интродуцентов в формировании культурных флор; проблему растительных инвазий. Решение этих вопросов является теоретической и практической задачей современной теории интродукции.

Большинство приведенных к настоящему времени интродукционных исследований связано с вопросами устойчивости интродуцентов. Устойчивость – одна из фундаментальных естественнонаучных проблем, интерес к которой возрастает в связи с необходимостью решения вопросов взаимодействия общества и природы, рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Акклиматизация растений при интродукции складывается из двух качественно различных этапов. Первый заключается в приспособлении отдельных особей интродуцируемого вида в процессе их индивидуального развития путем модификационной перестройки организма на основе существующего генотипа вида. Второй начинается с возникновения интродукционной популяции, обеспечивающей приспособительную изменчивость вида на основе мутаций и рекомбинаций генов и наследственное закрепление адаптивных признаков в смене поколений под влиянием естественного и искусственного отбора.

Первичная интродукция растений основана на онтогенетической адаптации видов к постоянно действующим и изменяющимся факторам среды. Начинается она со времени прорастания семени, продолжается весь цикл индивидуального развития особи и ограничена в своих пределах нормой реакции генотипа исходной формы интродуцента. Характер онтогенетической адаптации в значительной мере зависит от степени различия экологических условий родины интродуцента и места его культивирования. Если эти различия невелики, то вид приспособляется к ним так же, как и к переменам климатических, эдафических и биотических факторов на его родине. При значительных расхождениях экологических условий, особенно климатических, естественного ареала и места интродукции, реакция интродуцента на климат приспособительного значения не имеет, а носит сугубо защитный, чаще всего патологический характер [4, с. 68].

В интродукции решение обозначенного вопроса сводится к разработке методов, позволяющих определить перспективу культивирования растений в новых условиях, его способность адаптироваться к ним [5, с. 7–8].

Обзор литературы по вопросам интродукции декоративных многолетних растений показал интерес к этой группе растений многих ботаников из других государств. Так, изучение 9 109 образцов растений природной флоры бывшего СССР в опыте интродукции в Москве, проведенное Н.В. Трулевич (1991), показало, что лучше выживают растения, интродуцированные в виде семян. Наиболее жизнеспособными в Москве оказались представители флоры Дальнего Востока, Кавказа, Сибири [5, с. 9].

При отборе исходного материала для интродукции теоретической предпосылкой служили положения о том, что экологический потенциал растений обусловлен не только природными условиями его современного ареала, но и связан с историей формирования и расселения вида. Предварительная оценка перспективности вида для интродукции давалась на основании анализа флор тех или иных географических районов. Окон-



чатальную же оценку пригодности интродуцента для широкой культуры должен был дать прямой опыт [16, с. 56].

Учитывая неравноценность особей одного и того же вида по биологическим свойствам, семенной материал привлекался, по возможности, из разных мест естественного ареала и нахождения вида в культуре [16, с. 57].

Интродукция растений – непрерывный процесс, обусловленный научными и хозяйственными потребностями человека, модой на те или иные виды растений. Вводя растения в культуру в новых районах, интродукторы расширяют естественный ареал видов. Известный ботаник-географ А.П. Ильинский (1934) отмечал, что «ни один видовой признак не подвергался столь длительным и энергичным воздействиям со стороны человека, как ареал» [5, с. 12].

Конечной целью интродукционного опыта является выделение устойчивых видов и сортов, перспективных для широкой культуры в регионе [5, с. 14].

Традиции интродукции и паркостроения на территории юго-запада Беларуси, и в особенности г. Бреста, имеют вековые и глубокие корни. В современном городе многочисленны парки, бульвары и улицы с декоративными аллеями, составленными многими интродуцированными видами. Произрастают многие виды экзотических растений, родиной которых являются Северная Америка, Кавказ, Западная Европа, Дальний Восток, Центральная и Восточная Азия.

В рамках наших исследований среди многочисленного списка интродуцированных видов на территории юго-запада Беларуси особое внимание привлекли представители рода *Rhododendron* L. (сем. Ericaceae (Juss.) D.C.). В озеленении больших и малых населенных пунктов виды данного рода практически отсутствуют, несмотря на то, что климатические и почвенные условия в Юго-Западной части Бугско-Полесского региона более или менее благоприятны для их культивирования. По-видимому, основным препятствием внедрения их в культуру является недостаточное количество данных об их биологии, росте и развитии, видовой принадлежности, а также о некоторых аспектах семенного и вегетативного размножения.

Рододендроны (греч. rhodon – роза, dendron – дерево) – вечнозеленые, полувечнозеленые или листопадные кустарники, кустарнички (иногда эпифитные) реже деревья. Побеги голые, более или менее опушенные или покрытые чешуевидными железками. Почка с несколькими многочисленными черепчатно расположенными чешуями, иногда голые. Листья расположены поочередно, нередко сближены на концах побегов, многолетние, двулетние или однолетние, обычно цельнокрайние, реже мелкопильчатые, сильно варьируют по форме, размеру, характеру и степени опушенности, короткочерешковые или почти сидячие, реже длинночерешковые.

Цветочные почки верхушечные, одиночные, реже боковые (по несколько), многоцветковые, иногда 1–2-цветковые. Цветки в зонтико- или щитковидных соцветиях, реже одиночные или по два. Чашечка маленькая, пятираздельная или пятинадрезная, с более или менее развитыми долями или со слабо заметными зубцами, иногда почти незаметная. Венчик более или менее явно зигоморфный или почти правильный, колесовидный, широковоронкообразный, воронкообразный с широкой трубкой или колокольчатый, иногда трубчатый, как правило, 5-лопастной, реже 6–10-лопастной, равномерно окрашенный, с крапинками на внутренней стороне верхних долей или зеве. Тычинок 5–10, иногда до 20, выступающих из трубки венчика или заключенных в ней, одинаково развитых, реже различной длины. Гнезда пыльников без придатков, открываются круглым отверстием на верхушке. Завязь 5- или 6–10-гнездная. Плод –



коробочка (яйцевидная или цилиндрическая) 5-, реже 6–10-створчатая, раскрывается сверху вниз растрескиванием перегородок, многосемянная. Семена мелкие, многочисленые, 0,5–2,0 мм длины, палочковидные до яйцевидных, светло- или темно-коричневые, блестящие [13, с. 7].

Род Рододендрон включает в себя около 1 300 дикорастущих видов. Систематика рода сложна и еще недостаточно разработана, т. к. многие виды ботаниками слабо изучены [3, с. 7]. В других литературных источниках в мировой флоре описано свыше 1 200 видов [6, с. 2] и более чем 8 400 сортов, выведенных селекционерами различных стран [2, с. 131].

История культуры рододендронов насчитывает немногим более трех столетий, однако уже за этот период рододендроны стали популярными декоративными растениями открытого и закрытого грунта в странах Европы [13, с. 30].

Центром интродукции является Англия, затем возникают коллекции в Шотландии, Бельгии, Голландии, Германии, России и т. д. В России рододендроны введены в культуру во второй половине XIX – начале XX века в Петербургском ботаническом саду.

Для успешного выращивания диких видов необходимо знать их географическое распространение и требования к экологическим условиям. Известно несколько ареалов распространения дикорастущих рододендронов: Гималаи, Западный и Центральный Китай, прибрежные районы Китая, Северо-Восточная Азия, Япония, Малайский архипелаг, Европа, Северная Америка. Наибольшее количество видов рододендронов (свыше 700) сосредоточено в Китае [7, с. 4].

Главным условием успешности интродукции растений в Белоруссии является их зимостойкость. Поэтому изучению зимостойкости интродуцентов уделяется большое внимание (Н.Д. Нестерович, П.Ф. Лысоконь, В.А. Смирнова, Н.В. Шкутко, А.А. Чаховский, Е.З. Боборенко и др.). Проведенными исследованиями установлена связь зимостойкости с географическим происхождением растений, особенностями сезонной ритмики их роста, зимнего покоя, белкового и углеводного обмена, условий погоды [16, с. 57].

Опыт интродукции многих видов семенами из разных мест нахождения их в культуре показывает, что и в этом случае географическое происхождение семян имеет большое значение. Устойчивость к низким температурам выше у тех растений, которые выращены из семян, полученных из мест вторичного ареала, близких по климату к условиям мест интродукции [16, с. 58].

Зимостойкость интродуцентов зависит от степени соответствия их биологических ритмов годовому ритму климатических условий нового места обитания. Многолетние наблюдения показали, что растения, рано заканчивающие ростовые процессы, своевременно входящие в состояние покоя и проходящие закаливание, как правило, отличаются высокой зимостойкостью. Растения же с затяжным периодом роста в абсолютном большинстве повреждаются морозом [16, с. 58].

В Беларуси большое количество рододендронов было собрано в ботаническом саду земледельческого училища в Горках, но, к сожалению, они не сохранились к настоящему времени. Неизвестны и данные о конкретном списке этой коллекции. В 1966 году из Таллиннского ботанического сада АН Эстонии в Центральный ботанический сад НАН Беларуси было завезено около десяти видов. С 1972 года по обменному фонду из различных ботанических и растениеводческих учреждений зарубежных стран были получены виды рододендрона (в основном в виде семян, реже саженцами) [3, с. 13]. С этого времени в ЦБС НАН Беларуси опробовано выращивание 87 дикорастущих видов, 22 гибридов и сортов. Результатом интродукционной работы стало созда-



ние коллекционных посадок, в настоящий момент насчитывающих 62 таксона, из которых 35 вечнозеленых, 3 полувечнозеленых и 24 листопадных кустарника, успешно произрастающих и ежегодно обильно цветущих в условиях Беларуси [15, с. 131].

Юго-западная часть Беларуси отличается более продолжительным вегетационным периодом (207–208 дней), умеренно теплой и менее продолжительной зимой, незначительным промерзанием почвы, чем в центральной и восточной ее частях, что создает благоприятные условия для произрастания рододендронов (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика климатических факторов северной, центральной и южной части Беларуси (Витебск–Минск–Брест)

Климатический фактор	Витебск (55°20'с.ш.; 30°10'в.д.)	Минск (53°54'с.ш.; 27°34'в.д.)	Брест (52°10'с.ш.; 23°70'в.д.)
Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² в год	85–87	88,7	80–100
Температура воздуха самого теплого месяца (июль), °С	17,0–17,8	17,5	19,7
Температура воздуха самого холодного месяца (январь), °С	-6,4 (-8,1)	-7,3	-5,8
Годовая амплитуда температуры воздуха, °С		24,8	24,8
Суммы температур воздуха за период с температурой выше 10°С	2100	2210	2400
Длительность периода с температурой выше 10°С	140	145	160
Даты начала и конца безморозного периода	28.03–05.12	3.05–3.10	05.04–26.12
Длительность безморозного периода в воздухе, дни	140	152	170
Длительность безморозного периода на почве, дни	135	135	140
Количество осадков в год, мм	650–700	646	620
Количество дней с осадками, дни	183	193	171
Число дней со снежным покровом, дни	120	110	80
Продолжительность самого длинного дня, ч, мин	17:30	17:30	17:30

Примечание – показатели приведены из [8–11]

Объектами исследования послужили видообразцы данного рода, интродуцированные семенами из репродукции центрального ботанического сада НАН Беларуси, которые в дальнейшем были высеяны, и до настоящего времени ведется наблюдение за их ростом и развитием. Это следующие виды: рододендрон Давидсона (*Rh. davidsonianum* Rehd. et Wils.), р. японский (*Rh. japonicum* (A. Gray) Suring.), р. кэтевбинский (*Rh. catawbiense* Michx.), р. Смирнова (*Rh. smirnowii* Trautv.). Кроме того, были взяты образцы и ведется наблюдение за ростом и развитием в открытом грунте в «Саду непрерывного цветения» при УО «БрГУ имени А.С. Пушкина» за видом рододендрон гибридный (*Rh. hybridum hort.*).



Rhododendron davidsonianum Rehd. et Wils. – вечнозеленый кустарник. Цветки розовые с красным крапом. Цветет в конце мая. Зимостойкость невысокая.

В природе встречается в Китае, на западе провинции Сычуань. Очень вариабельный вид.

В культуре известен с 1908 г. [13, с. 75].

В таблице 2 дана климатическая характеристика пунктов произрастания и культивирования *Rh.davidsonianum* Rehd. et Wils.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика климатических факторов в местах произрастания *Rh.davidsonianum* Rehd. et Wils. в Восточном Китае и культивирования в г. Бресте

Климатический фактор	Китай, запад провинции Сычуань (34°19'с.ш.; 108°12'в.д.)	Брест (52°10'с.ш.; 23°70'в.д.)
Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² в год	140	80–100
Температура воздуха самого теплого месяца (июль), °С	+20 – +25	19,7
Температура воздуха самого холодного месяца (январь), °С	-7 – +15	-5,8
Годовая амплитуда температуры воздуха, °С	34–40	24,8
Суммы температур воздуха за период с температурой выше 10°С	3400–4200	2400
Длительность периода с температурой выше 10°С	180–195	160
Даты начала и конца безморозного периода	06.03–28.12	05.04–26.12
Длительность безморозного периода в воздухе, дни	230–240	170
Длительность безморозного периода на почве, дни	200–210	140
Количество осадков в год, мм	1500–4500	620
Количество дней с осадками, дни	120–145	171
Число дней со снежным покровом, дни	45–50	80

Примечание – показатели приведены из [8–11]

Rhododendron japonicum (A. Gray) Suring. – листопадный кустарник, 1–2 м высоты с ширококораскидистой густой кроной, сильно ветвистый. Молодые побеги голые или покрыты серебристыми щетинистыми волосками. Почка яйцевидные, островатые, серо-бурые, голые, почечные чешуйки по краю покрыты белореснитчатыми волосками. Листья тонкие, продолговато-ланцетовидные, 4–10 см длины, 2–4 см ширины, притупленные, с остроконечием и клиновидным основанием, при разворачивании иногда мягкоопушенные, взрослые с обеих сторон зеленые, сверху с рассеянными, прижатыми, щетинистыми волосками, снизу опушенные только по жилкам, по краю реснитчатые, постепенно переходящие в черешок 0,5–1,0 см длины. Цветки по 6–12, распускаются от листьев или одновременно с ними. Венчик широковоронкообразный, с широкой трубкой, обычно более короткой, чем доли отгиба, снаружи бархатистый, оранжево-красный, 6–8 см в диаметре. Чашечка маленькая, как и цветоножка, более или менее



сильно опушена сероватыми щетинистыми волосками. Тычинок 5, короче венчика, нити их в нижней части волосистые. Пыльники темно-бурые. Завязь опушенная. Столбик голый.

Цветет в июне до распускания листьев или одновременно с ними.

В природе встречается в Средней и Северной Японии. Растет на солнечных травянистых склонах гор или среди невысоких кустарников. Никогда не встречается в лесах в густых зарослях. Эту экологическую особенность вида следует строго соблюдать при возделывании.

В культуре вид известен с 1861 г., в Беларуси – с 1966 г. Один из ценнейших видов рододендронов. Очень широко используется в селекции. В культурных условиях полностью зимостойкий, на зиму рекомендуется укрывать его корни слоем листьев толщиной 20–30 см или хвоей [3, с. 22], [7, с. 31], [12, с. 124], [13, с. 82], [14, с. 35].

В таблице 3 дана климатическая характеристика пунктов произрастания и культивирования *Rh. japonicum* (A. Gray) Suring.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика климатических факторов в местах произрастания *Rh. japonicum* (A. Gray) Suring. в Центральной Японии и культивирования в г. Бресте

Климатический фактор	Центральная Япония (36°00'с.ш.; 138°00'в.д.)	Брест (52°10'с.ш.; 23°70'в.д.)
Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² в год	60–120	80–100
Температура воздуха самого теплого месяца (июль), °С	28,2	19,7
Температура воздуха самого холодного месяца (январь), °С	-3,1	-5,8
Годовая амплитуда температуры воздуха, °С	24	24,8
Суммы температур воздуха за период с температурой выше 10°С	3500–4000	2400
Длительность периода с температурой выше 10°С	185–195	160
Даты начала и конца безморозного периода	06.03–28.12	05.04–26.12
Длительность безморозного периода в воздухе, дни	230–240	170
Длительность безморозного периода на почве, дни	200–210	140
Количество осадков в год, мм	1000–2500	620
Количество дней с осадками, дни	150–160	171
Число дней со снежным покровом, дни	нет устойчивого снежного покрова	80

Примечание – показатели приведены из [8–11]

Rhododendron catawbiense Michx. – вечнозеленый широко разрастающийся кустарник, 2–4 м высоты, диаметр куста обычно превышает его высоту. Молодые побеги вначале войлочные, позже становятся голыми. Листья от эллиптических до продолговато-эллиптических, на конце тупые или с остроконечием, у основания закругленные,



7–15 см длины, 3–5 см ширины, сверху темно-зеленые, блестящие, голые, с 16 парами хорошо выраженных жилок, гладкие, снизу бледные, голые, черешки 1,5–3,0 см длины. Молодые листья слегка опушенные. Цветки по 15–20 в плотных соцветиях, 12–15 см в диаметре, от широковоронковидных до колокольчатых. цветоножки 2,5–3,5 см длины, ржавоопушенные и железистые. Чашечки с 5 коротко-треугольными долями. Венчик сиренево-пурпурный с зеленоватыми крапинками, около 6 см в диаметре и с 5 широкими закругленными долями. Тычинок 10, нити их белые, у основания густоопушенные. Завязь ржавчинно-войлочным опушением. Столбик голый. Цветет в конце мая – начале июня.

В природе встречается в восточной части Северной Америки от Виргинии до Джорджии, Теннесси и Алабамы: в верхнем поясе Аллеганских гор на высоте около 2000 м над уровнем моря, особенно много в истоках р. Кэтевби. Встречается под пологом леса или образует обширные чистые заросли. Один из наиболее зимостойких вечнозеленых рододендронов.

Вид в культуре известен с 1809 г., в Беларуси – с 1966 г. Один из самых распространенных рододендронов в культуре. Широко используется в селекции для получения зимостойких крупноцветковых вечнозеленых сортов. Трехлетние сеянцы этого вида являются лучшим подвоем для многих сортов вечнозеленых рододендронов [3, с. 19], [12, с. 119], [13, с. 73], [14, с. 32].

В таблице 4 дана климатическая характеристика пунктов произрастания и культивирования *Rh. catawbiense* Michx.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика климатических факторов в местах произрастания *Rh. catawbiense* Michx. в США и культивирования в г. Бресте

Климатический фактор	США (41°58'с.ш.; 83°56'в.д.)	Брест (52°10'с.ш.; 23°70'в.д.)
Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² в год	115–120	80–100
Температура воздуха самого теплого месяца (июль), °С	21	19,7
Температура воздуха самого холодного месяца (январь), °С	-3	-5,8
Годовая амплитуда температуры воздуха, °С	24	24,8
Суммы температур воздуха за период с температурой выше 10°С	3200–3500	2400
Длительность периода с температурой выше 10°С	180	160
Даты начала и конца безморозного периода	1.05–13.10	05.04–26.12
Длительность безморозного периода в воздухе, дни	180	170
Длительность безморозного периода на почве, дни	166	140
Количество осадков в год, мм	900–950	620
Количество дней с осадками, дни	145–160	171
Число дней со снежным покровом, дни	60–80	80

Примечание – показатели приведены из [8–11]

Rhododendron smirnowii Trautv. – вечнозеленый кустарник, 1–6 м высоты, с серой корой на старых ветвях. Молодые побеги густо-беловойлочные, однако через два



года становяцца голымі. Лісьця прадолгавата-эліптычныя, 6–15 см даўжыні, 2–3 см шырыні, на верхушцы тупаватыя, к аснове сужаныя, са слаба завернутым краем, пры распусканні лісьця густо-беловайлочныя, пазьж становяцца голымі, зверху зялёныя, блэстячыя, знізу густо-беловайлочныя, пазьжне іногды брыя. Зверху 10 пар хораша відных жилок. Чэрашкі 1,0–2,5 см даўжыні. Цветкі па 10–14 ў большых, плотных соцветях, 12–15 см ў дыяметры. Вэнчык пурпурна-розавы, 4–6 см ў дыяметры, ад шыроковоронкавиднага да колакольчатага, с волністым краем адгіба, голы і ці амаль голы. Цветоножкі 2,8–3,5 см даўжыні, войлочныя і жалезістыя. Чашэчка с 5 шырыкімі округлымі долямі, 0,5 мм даўжыні, 2,0–2,5 мм шырыні. Тычыночкі 10, ніці іх густо опушаны ад самага аснована, прыкладна на $\frac{1}{3}$ даўжыні. Завязь густо-беловайлочная. Столбчык голы. Коробочка прадолгаватая, больш ці менш густо-беловайлочная, да 2 см даўжыні. Цветэц ў канцы мая – першай паловіне іюня.

У прыродзе распастранен на Кавказе (Аджарыя), ў Турцыі. Расце ў лэсах па схілах гар на вышце 700–2500 м над узроўнем мора.

У культуры ізнестен с 1886 г., ў Беларусі – с 1966 г. Цэнны від для селекцыі, адрнаеца высокай зімостойкасьцю [13, с. 102; 3, с. 29; 7, с. 31; 12, с. 119].

У табліцы 5 дана кліматычная характарыстыка пунктаў прадзірастання і культурывання *Rhododendron smirnowii* Trautv.

Табліца 5 – Сраўнітэльная характарыстыка кліматычных фактараў ў месцах прадзірастання *Rhododendron smirnowii* Trautv. на Кавказе, ў Турцыі і культурывання ў г. Брэсте

Кліматычны фактар	Кавказ (Аджарыя)	Турцыя (39°55'с.ш.; 32°50'в.д.)	Брэст (52°10'с.ш.; 23°70'в.д.)
Суммарная сонечная радыацыя, ккал/см ² ў год	110–120	160	80–100
Тэмпература ваздуха самага тэплага месяца (іюль), °С	+20 – +26	+15 – +34	19,7
Тэмпература ваздуха самага халаднага месяца (январь), °С	+3 – +9	+5 – +13	-5,8
Годавая амплітуда тэмпературы ваздуха, °С	27	30	24,8
Суммы тэмператур ваздуха за перыяд с тэмпературай вышэ 10°С	2000–2100	2100	2400
Длітэльнасьць перыода с тэмпературай вышэ 10°С	170–185	180–210	160
Даты пачала і канца безморознага перыода	30.03–28.12	25.03–30.12	05.04–26.12
Длітэльнасьць безморознага перыода ў ваздухе, дні	210–225	240–270	170
Длітэльнасьць безморознага перыода на пачве, дні	195–200	200–220	140
Колічэства асадкаў ў год, мм	1000–2800	635–2200	620
Колічэства дняў с асадкамі, дні	128–130	120–140	171
Чісло дняў с снэжным павровам, дні	55	40	80

Прымечаньне – паказатэлі прыведзены з [8-11]



Rhododendron hybridum hort. – под этим названием в ботанической и садоводческой литературе большая группа культурных сортов вечнозеленых крупноцветковых рододендронов, выведенных на основе многочисленных диких видов и культурных сортов. Среди видов, использованных в селекции, наиболее важную роль сыграли *Rh. arboretum* Smith, *Rh. catawbiense* Michx., *Rh. caucasicum* Pall., *Rh. fortunei* Lindl., *Rh. griffithianum* Wight, *Rh. maximum* L., *Rh. repens* Balf. f. et Forrest, *Rh. smirnowii* Trautv. И их гибриды.

Особенно много ценных сортов, не утративших своего значения и сегодня, было выведено во второй половине XIX – начале XX вв. В это время в селекции рододендронов применяли скрещивание в различных комбинациях как между видами, так и сортами. Результатом этой работы и явилось создание многочисленных высокодекоративных сортов рододендронов [13, с. 81].

Как следует из приведенных в таблицах 1–5 данных, климат города Бреста по сравнению с таковым в Китае (запад провинции Сычуань), Центральной Японии, США, на Кавказе (Аджария) и в Турции отличается более продолжительным неблагоприятным периодом с низкими температурами и прохладным летним сезоном, хотя длительность периода с температурой выше 10°C (Китай – 180–195, Япония – 185–195, и США – 180, Аджария – 170–185, Турция – 180–210 и Брест – 160) приблизительно равны.

Таким образом, исследования в сравнении климатических факторов показали, что значения основных показателей климатических условий в естественных ареалах не значительно превышают таковые в условиях г. Бреста и его окрестностей, что позволяет выращивать значительное количество видов рода *Rhododendron* L. (*Rh. davidsonianum* Rehd. et Wils., *Rh. japonicum* (A. Gray) Suring., *Rh. catawbiense* Michx., *Rh. smirnowii* Trautv., *Rh. hybridum hort.*) в открытом грунте Юго-Запада Беларуси.

Представители данного рода в наших условиях ведут себя как типичные длиннодневные растения, т. к. световой день в условиях г. Бреста длиннее по отношению к естественным условиям обитания. Это обстоятельство отражается на более ранних сроках цветения рододендронов, что и подчеркивает их особую декоративность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базилевская, Н.А. Теории и методы интродукции растений / Н.А. Базилевская. – М. : Изд-во. МГУ, 1964. – 131 с.
2. Ботяновский, И.Е. Опыт интродукции некоторых видов рододендронов в условиях Беларуси / И.Е. Ботяновский // Интродукция растений. – Минск : Наука и техника, 1976. – С. 131–135.
3. Ботяновский, И.Е. Рододендроны / И.Е. Ботяновский. – Минск : Красико-Принт, 2007. – 64 с. – [2] л. : – (Урожайные сотки).
4. Бусько, Е.Г. Эколого-географические и исторические аспекты интродукции и акклиматизации растений в Бресте / Е.Г. Бусько // Теоретические и прикладные аспекты интродукции растений как перспективного направления развития науки и народного хозяйства : материалы Междунар. науч. конф., посвященной 75-летию со дня образования Центр. ботан. сада НАН Беларуси, Минск, 12–15 июня 2007 г. : в 2 т. / редкол.: В.Н. Решетников [и др.]. – Минск : Эдит ВВ, 2007 – 376 с. – Т. 1. – С. 68 – 71.
5. Володько, И.К. Декоративные многолетники : результаты интродукции и перспективы использования в народном хозяйстве / И.К. Володько [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2008. – 214 с.



6. Володько, И.К. Центральный ботанический сад НАН Беларуси : Рододендроны – экскурсия по коллекции / И.К. Володько. – Минск : Эдит ВВ, 2005 – 6 с.
7. Гайшун, В.В. Рододендроны / В.В. Гайшун. – М. : Изд. дом МСП, 2004. – 32 с.
8. Географический атлас для учителей средней школы / Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР. – 4-е изд. – М., 1983. – 238 с.
9. Географический атлас СССР / Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР. – М., 1991.
10. География Беларуси : Атлас : вучэб. дапам. для 9-га кл. устаноў, якія забяспечваюць атрыманне агул. сярэд. адукацыі, з бел. і рус. мовамі навучання з 11-гадовым тэрмінам навучання / навук. кіраўнік Р.А. Жмойдзяк. – Мінск : Белкартаграфія, 2004. – 64 с. : іл. карт.
11. География материков и океанов: Атлас / Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР. – М., 1989.
12. Дьякова, Т.Н. Декоративные деревья и кустарники: новое в дизайне вашего сада / Т.Н. Дьякова. – М. : Колос, 2001. – 360 с.
13. Кондратович, Р.Я. Рододендроны в Латвийской ССР : Биологические особенности культуры : монография / Р.Я. Кондратович ; ред. Х. А. Мауриня ; Латвийский госуд. ун-т. им. П. Стучки. – Рига : Зинатне. 1981. – 332 с.
14. Лябик, О.Ю. Декоративные кустарники / О.Ю. Лябик. – М. : ТИД Континент-Пресс, Континенталь-Книга, 2006. – 64 с.
15. Сидорович, Е.А. Размножение декоративного кустарника рода *Rhododendron* L. Для использования в зеленом строительстве Беларуси / Е.А. Сидорович, А.К. Злотников, Т.М. Бурганская // Тр. Белорус. госуд. технологич. ун-та. Сер. 1. Лесное хозяйство. – 2000. – Вып. 8. – С. 130–134.
16. Шкутко, Н.В. Интродукция древесных растений в Белоруссию / Н.В. Шкутко, А.А. Чаховский, Е.З. Боборенко // Интродукция и селекция растений. – Минск : Наука и техника, 1972. – С. 51–65.

S.V. Zerkal, Y.V. Bondar. To the Question of Introduction of Some Kinds of Rhododendron L. in the Conditions of the South-West of Belarus

The problem of introduction of four kinds of *Rhododendron* L is studied – *Rh. davidsonianum* Rehd. et Wils., *Rh. japonicum* (A. Gray) Suring., *Rh. catawbiense* Michx., *Rh. smirnowii* Trautv. The comparative analysis of climatic conditions of natural areas of these kinds, and their areas mass introduction is carried out as well, which will further allow to approach more rationally to the choice of specific structure optimal to region of the southwest of Belarus.



УДК 581.82+821+823+824

С.В. Зеркаль, С.Н. Волосюк, А.П. Колбас

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЛИСТА ТИССА ЯГОДНОГО (*Taxus baccata* Lindl.) И ПСЕВДОТСУГИ ТИССОЛИСТНОЙ (*Pseudotsuga taxifolia* Lindl.) ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ОСВЕЩЕННОСТИ

Изучено влияние различной степени освещенности на морфологические и анатомические признаки листа тисса ягодного и псевдотсуги тиссолистной первого, второго, третьего и пятого года жизни. Метод исследования – сравнительно-анатомический. Результаты измерений подвергались статистической обработке. Качественные анатомические признаки листа не подвержены воздействию различных условий освещенности. Основное влияние света испытывают только количественные анатомические признаки листа исследованных видов, что наиболее проявляется у листа первого и второго года.

Значение листа как бокового органа чрезвычайно велико [12]. Лист полифункционален, что обусловило такую его структуру, которая наряду с общими закономерностями развития и строения характеризуется многочисленными и очень ценными в диагностическом отношении особенностями. Многие авторы использовали структурные особенности листа для уточнения систематического положения видов растений [13]. В растительном покрове нашей планеты преобладают покрытосеменные растения, они и дают основную фитомассу. Эти два обстоятельства объясняют повышенный интерес анатомов и физиологов к листу этой группы растений. Можно отметить, что последнее тридцатилетие характеризуется появлением крупных обобщающих работ, посвященных листу покрытосеменных [1; 3; 8]. Это говорит о значительной изученности данной группы растений. Анализ работ исследователей позволяет говорить о многоаспектности в изучении этого органа: изучалась морфология, анатомическая структура (как листа в целом, так и отдельных тканей), онтогенез, особенности развития структуры в различных условиях обитания и т. д.

Голосеменные растения, значительная часть которых относится к семейству сосновых (по С.А. Шостаковскому – 250 видов из 800) [11], несмотря на довольно широкое распространение, оказались изученными в меньшей степени. Это касается всех вегетативных органов и особенно листа. Однако осевая часть растений семейства сосновых изучена достаточно детально [4; 7]. Лист как целостная структура подробно исследован [5], однако, несмотря на это, мало уделено внимания экологическим факторам, влияющим на его структуру. Цель нашего исследования – выявление степени влияния интенсивности освещения на качественные и количественные параметры анатомического строения листа выбранных объектов.

Материал и методика исследования

Объекты исследования

Для анатомического анализа нами выбрано два вида, относящихся к двум семействам: тисс ягодный – *Taxus baccata* Lindl. сем. Тиссовые (*Taxaceae* Lindl.), псевдотсуга тиссолистная – *Pseudotsuga taxifolia* Lindl. сем. Сосновые (*Pinaceae* Lindl.) [10]. Выбор объектов изучения был обусловлен в большей мере тем, что тисс ягодный и псевдотсуга тиссолистная характеризуются морфологическим сходством в строении листа, одинаковой требовательностью к экологическим факторам, являются теневыносливыми



растениями, малотребовательны к почвам и другим условиям произрастания. Начиная с 50-х годов XIX века очень часто выращиваются в садово-парковых композициях, в том числе и на территории Беларуси. В связи с этим имеют большую декоративную ценность и практическое значение.

Методика сбора полевого материала

Материал для исследования был собран в Агробиологическом центре БрГУ имени А.С. Пушкина. Образцы отбирали с деревьев в возрасте 25–40 лет из средней части кроны с южной и северной стороны. Отбор производили в период покоя (ноябрь 2002, 2003, 2004 гг.) с деревьев, не имевших явных признаков повреждения болезнями и вредителями. Хвою фиксировали в 96% этиловом спирте. Спустя 3–4 дня в этанол добавляли глицерин (25% по объему). Освещенность измеряли люксметром Ю 116. В полуденное время в безоблачный день интенсивность света с освещенной стороны колебалась от 75 000 до 80 000 люкс, при этом интенсивность освещения затененных листьев составляла 3 000–3 500 люкс, т. е. около 5% от полной.

Методика изготовления постоянных и временных препаратов

Поперечные и продольные срезы готовили из средней части хвои на санном микротоме с замораживающим столиком. Перед изготовлением срезов материал помещали на 30 минут в водную среду, после чего образцы лучше подвергаются заморозке, так как спирт диффундирует в воду. Часть срезов готовили от руки при помощи лезвия безопасной бритвы. Срезы окрашивали регрессивным способом, помещая в спиртовые растворы сафранина и нильского синего. После окраски срезы подвергали дегидратации в спирте разной концентрации (50%, 75%, 90% и абсолютный спирт). На следующем этапе их обрабатывали карболксилолом, после чего помещали в канадский бальзам. Таким образом, методика была общепринятой в анатомии растений [9].

Постоянные препараты готовили только из средней части хвои однолетнего, двулетнего, трехлетнего и пятилетнего возраста. Для сравнения структуры листа на верхушке и у основания, а также однолетней хвои использовали только временные препараты. Для изучения эпидермального комплекса листа эпидерму снимали при помощи лезвия безопасной бритвы, а также использовали метод отпечатков эпидермы [2].

Анализ и обработка материалов

Полученные результаты измерений подвергали статистической обработке методом вариационных рядов (для этой цели проводили 50 измерений). Обработывали вариационные ряды с вычислением средней арифметической, ошибки средней величины, среднего квадратичного отклонения, коэффициента вариации. Помимо названных величин, находили достоверность средней величины, показатель точности и в случаях обработки одного и того же признака у растений, обитающих в разных условиях, определяли достоверность различий между двумя средними [6].

Основной метод исследования – сравнительно-анатомический.

Результаты работы

Для единого подхода при проведении исследования был составлен кодекс диагностических признаков анатомического строения листа, по которым описывались виды (на поперечных и продольных срезах). На основании данных составлены таблицы для сравнения.



Строение листа *Taxus baccata* Lindl. (сем. *Taxaceae* Lindl.)

Хвоя тисса одиночная, очередная, плоская, короткочерешковая. Вершина заострена, края слегка загнуты вниз. Центральная жилка хорошо выражена как с нижней, так и с верхней стороны. С нижней стороны вдоль хвоинки проходят две полосы устьиц по одной с каждой стороны жилки, ширина полос 500–600 мкм. В полосе содержится 8–10 рядов устьиц.

Эпидерма, покрывающая лист, однослойная и несколько отличается на верхней и нижней сторонах листа. Клетки верхней эпидермы в поперечном сечении неправильно-пятиугольные с выпуклой внешней стенкой. Толщина оболочек равномерная. Клетки покрыты мощным слоем кутикулы до 6 мкм. Клетки нижней эпидермы эллипсоидные в поперечном сечении, кутикулярный слой значительно меньшей толщины, чем у клеток верхней эпидермы. Не строго унифицированное расположение устьиц. То есть, располагаясь продольными рядами, устьица не всегда образуют ряды в перпендикулярном направлении, в то же время их расположение не является шахматным. Выявлено различие в форме и размерах эпидермальных клеток, находящихся между рядами устьиц и между полосами. Если в полосе устьиц между рядами клетки более квадратные, то между полосами они вытянуты по оси хвоинки.

Нами обнаружены *устьичные аппараты* трех типов: тетра-, пента- и гексацидные. У тисса ягодного ширина эпидермальных клеток однолетней хвои в тени составляет $10 \pm 0,5$ мкм, тогда как у пятилетней хвои эти параметры возрастают до $23 \pm 0,1$ мкм. Эти же показатели у однолетней хвои на свету $11 \pm 0,4$ мкм, у пятилетней – $15 \pm 0,4$ мкм. Высота эпидермальных клеток в тени у однолетней хвои $15 \pm 0,4$ мкм, у пятилетней – $22 \pm 0,2$ мкм. У хвоинок первого года, расположенных на свету, эти параметры достигают $13 \pm 0,2$ мкм, у пятилетних – $22 \pm 0,2$ мкм.

Из вышеприведенных данных очень хорошо видно, что с возрастом хвоинки происходит увеличение всех параметров эпидермальных клеток на поперечном срезе: в тени разница параметров между однолетней и пятилетней хвоей составляет 15–20 мкм, тогда как на свету эта разница достигает 45 мкм.

Гиподерма отсутствует, поэтому к эпидерме примыкает *ассимиляционная ткань*, четко дифференцированная на столбчатую и губчатую. Клетки столбчатого мезофилла расположены большей осью перпендикулярно поверхности листа (два ряда клеток), их высота составляет 100 мкм и более, ширина – 20–25 мкм. Губчатый мезофилл сложен рыхло овальными клетками, имеющими диаметр до 100 мкм в поперечном направлении хвоинки и до 50 мкм по высоте хвоинки. При общей толщине листовой пластинки 500 мкм на долю столбчатого мезофилла приходится примерно 1/3.

Клетки мезофилла в тени у хвоинок первого года по длине в тангентальном направлении достигают $63 \pm 1,5$ мкм, у многолетних – $88 \pm 1,5$ мкм, на свету эти параметры клеток идентичны и с возрастом хвоинки не изменяются в обоих случаях. Высота клеток мезофилла у хвоинки первого года в тени составляет $100 \pm 2,3$ мкм, у многолетней эти параметры достигают $125 \pm 5,0$ мкм, на свету у хвоинки первого года – $70 \pm 2,0$ мкм, у многолетней хвои – $114 \pm 4,0$ мкм.

Тангентальные размеры клеток ассимиляционного аппарата тисса на свету менее подвержены изменению количественных характеристик, что связано в первую очередь с его генетически обусловленной теневыносливостью.

Смоляных ходов в листе тисса ягодного не обнаружено.

Проводящая система представлена одним проводящим пучком, имеющим эллипсоидную форму поперечника с размерами по высоте хвоинки 120–125 мкм, по ширине



хвоинки –170–175 мкм и с возрастом почти не изменяется в размерах. Типичная эндодерма отсутствует, трансфузионной ткани очень мало, и она мелкоклеточная, к ней непосредственно примыкают клетки мезофилла (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние освещенности на качественные и количественные признаки листа тисса ягодного

Признаки		Условия							
		Свет				Тень			
		Возраст листа (лет)							
		1	2	3	5	1	2	3	5
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	
ЭПИДЕРМА	Форма поперечного сечения основных клеток	неправильно-пятиугольные							
	Тангентальный размер основных клеток, мкм	11±0,4	12±0,4	12±0,4	15±0,4	10±0,5	19±0,6	21±0,1	23±0,1
	Радиальный размер основных клеток, мкм	13±0,2	17±0,2	20±0,2	22±0,2	13±0,2	15±0,3	20±0,2	22±0,2
	Форма просвета основных клеток на поперечном срезе	каплевидная							
	Характер утолщения стенок основных клеток	внешняя утолщена больше							
	Толщина внешних стенок основных клеток, мкм	2,6±0,1	3,8±0,1	4,6±0,2	6,9±0,1	2,1±0,1	3,2±0,1	4,8±0,2	6,1±0,2
	Характер внутренней поверхности оболочек основных клеток	ровные							
АППАРАТ	Тип устьичного аппарата	тетра-, пента- и гексацидные							
	Расположение устьиц на гранях листа	с морфологически нижней стороны листа							
	Количество полог на каждой стороне от жилки	8–10	8–10	8–10	8–10	8–10	8–10	8–10	8–10



Продолжение таблицы 1

1		2	3	4	5	6	7	8	9
УСТЫЧНЫЙ	Общая картина расположения устьиц	продольные ряды							
	Расположение замыкающих клеток по отношению к околоустьичным	погруженные							
ГИПОДЕРМА	Число слоев склеренхимных волокон	отсутствует							
	Форма поперечного сечения клеток								
	Толщина клеточных оболочек, мкм								
	Форма просвета клеток на поперечном срезе								
	Тангентальный размер клеток, мкм								
	Радиальный размер клеток, мкм								
СМОЛЯНЫЕ ХОДЫ	Количество смоляных ходов на поперечном срезе	не обнаружены							
	Диаметр смоляных ходов, мкм								
	Характер клеток обкладки смоляного хода								
	Количество слоев клеток обкладки								



Продолжение таблицы 1

1		2	3	4	5	6	7	8	9
МЕЗОФИЛЛ	Характер клеточных оболочек на поперечном срезе	ровный							
	Тангентальный размер клеток, мкм	45±2,0	47±2,0	72±2,3	81±2,0	63±1,5	67±2,0	76±2,0	88±1,5
	Радиальный размер клеток, мкм	70±2,0	76±2,0	88±2,0	114±4,0	100±2,3	102±2,3	116±5,0	125±5,0
	Форма клеток субэпидермального слоя	продолговатая							
	Тангентальный размер субэпидермальных клеток, мкм	23±2,0	25±0,7	27±0,8	37±1,6	32±1,3	42±1,1	52±1,2	52±1,1
	Радиальный размер субэпидермальных клеток, мкм	63±1,7	65±2,0	66±2,0	75±2,7	57±0,7	63±1,7	67±1,9	81±2,0
ЭНДОДЕРМА	Форма поперечного сечения клеток	не выражена							
	Тангентальный размер клеток, мкм								
	Радиальный размер клеток, мкм								
	Характер эндодермы по величине поперечного сечения клеток								
СИСТЕМА	Форма поперечного сечения пространства, ограниченного эндодермой	не выражена							
	Радиальный размер проводящего пучка, мкм								



Окончание таблицы 1

1		2	3	4	5	6	7	8	9	
ПРОВОДЯЩАЯ	Радиальный размер ксилемы, мкм	45±1,3	45±1,5	47±1,2	49±1,1	40±1,3	43±1,1	45±0,9	47±0,6	
	Количество трахеид в радиальном ряду	4–5	4–5	4–5	4–5	4–5	4–5	4–5	4–5	
	Радиальный размер трахеид, мкм	9±0,2	10±0,1	11±0,2	11±0,2	8±0,25	8±0,1	10±0,2	10±0,1	
	Радиальный размер флоэмы, мкм	70±1,1	73±1,6	75±1,2	77±1,2	77±0,5	79±2,0	82±2,0	85±0,7	
	Количество ситовидных клеток в радиальном ряду	6–7	6–7	6–7	6–7	7–8	7–8	7–8	7–8	
	Радиальный размер ситовидных клеток, мкм	9±0,2	10±0,2	10±0,2	10±0,2	9±0,2	9±0,1	9±0,1	10±0,2	
	Расположение пучков в трансфузионной ткани	в центре								

Строение листа *Pseudotsuga taxifolia* Lindl. (сем. Pinaceae Lindl.)

Хвоя лжетсуги тиссолистной линейная, одиночная, очередная, плоская, короткочерешковая. Вершина заостренная. В поперечном сечении хвоя выпукло-вогнутая, так как жилка выдается с морфологически нижней стороны, а с верхней над ней расположен желобок.

Эпидерма однослойная, клетки в продольном направлении до 300 мкм длиной. Их поперечные стенки или перпендикулярны к продольным, или наклонены, но односкатные. На поперечном сечении они округлые, квадратно-прямоугольные, их размер в радиальном направлении составляет 10–15 мкм, в тангентальном – 20–25 мкм. Толщина клеточной стенки – 2,6±0,1 мкм, утолщение равномерное, хвоя мягкая, т. к. лигнификация слабая, что хорошо видно по степени окрашивания сафранином. Слой кутикулы примерно вдвое превышает толщину стенок клеток (4–5 мкм).

У псевдотсуги тиссолистной тангентальный размер эпидермальных клеток однолетней хвои в тени составляет 8±0,5 мкм, тогда как у пятилетней хвои эти параметры возрастают до 18±0,1 мкм. Эти же показатели у однолетней хвои на свету 8±0,4 мкм, у многолетней – 22±0,4 мкм. Высота эпидермальных клеток в тени у однолетней хвои 15±0,2 мкм, у многолетней – 22±0,2 мкм. У хвоинок, произрастающих на свету, эти параметры достигают у листа первого года 16±0,2 мкм, у многолетних – 21±0,2 мкм. У псевдотсуги тиссолистной гиподермальные клетки на свету у хвоинок первого года



в ширину достигают $12 \pm 1,1$ мкм, у многолетней хвое – $19 \pm 0,8$ мкм. Эти параметры в тени составляют у хвоинок первого года $14 \pm 0,5$ мкм, у многолетних – $18 \pm 0,1$ мкм.

Только в нижней эпидерме, как и у тисса ягодного, между смоляными ходами и центральной жилкой (по обе стороны от нее) двумя полосами, по 6–8 рядов в каждой, расположены устьица. *Устьичный аппарат* представлен двумя типами: энциклотным и тетрацитным. Если с верхней стороны листа все клетки эпидермы однотипны, вытянуты по оси листа и имеют мощную вторичную оболочку, то с нижней стороны их можно дифференцировать на два типа:

1. Основные клетки в рядах устьиц и примыкающие к ним с боков. Они округлые, овальные, но сложены без межклетников. При этом в рядах устьиц их длина и ширина примерно равны, а примыкающие к ним клетки имеют длину вдвое большую ширины.

2. Клетки, разделяющие ряды устьиц. Их длина в 3–4 раза превышает ширину, и они выделяются, подобно лучам, расположены в 2 ряда.

Гиподерма не образует сплошного слоя, а представлена группами по 3–4 клетки. Хорошо развиты склеренхимные волокна над и под жилкой и в углах хвоинок. По форме поперечного сечения они не отличаются от эпидермальных клеток, имеют такую же толщину стенок и практически не лигнифицированы (не окрашиваются сафранином).

Мезофилл, заполняющий пространство между гиподермой и эндодермой, можно дифференцировать на три зоны:

1. Клетки средней части хвоинки. На поперечном срезе хорошо заметно, как в обе стороны от эндодермы по направлению к углам отходят 4–5 слоев клеток, имеющих в этом направлении длину до 200 мкм при высоте 30–40 мкм. По мере удаления от эндодермы длина их укорачивается, и они постепенно становятся изодиаметрическими. Клетки этой части хвоинки отличаются от других типов тремя особенностями: во-первых очень рыхлым сложением; во-вторых, незначительным содержанием хлоропластов; в-третьих, наличием в них большого количества слизи, занимающей большой объем, так что цитоплазма и хлоропласты расположены постенно.

2. Столбчатый мезофилл расположен под верхней эпидермой и сложен двумя-тремя рядами клеток, овально-многоугольными в поперечнике, но несколько меньшими по размерам, чем клетки мезофилла, окружающие эндодерму. Их размеры варьируют в радиальном направлении в пределах 80–90 мкм, а по ширине – в 2 раза меньше. В этих клетках располагается наибольшее количество хлоропластов.

3. Клетки губчатого мезофилла округло-квадратные в поперечнике и сложены довольно плотно. Они составляют основную массу мезофилла. Их радиальный размер в 1,5–2 раза больше ширины, поэтому они хорошо выделяются.

В строении всех клеток мезофилла для листа лжетсуги тиссолистной характерно отсутствие в молодых листьях складчатости клеточных стенок, но с возрастом она появляется. Размеры клеток мезофилла у теневых хвоинок первого года в радиальном направлении достигают $55 \pm 2,3$ мкм, у многолетней – $92 \pm 5,0$ мкм. Эти же параметры клеток мезофилла у хвоинок первого года на свету составляют $53 \pm 2,0$ мкм, у многолетней эти размеры достигают $80 \pm 4,0$ мкм. На свету у хвоинок первого года тангентальные размеры достигают $24 \pm 2,0$ мкм, у многолетней – $31 \pm 2,0$ мкм. В тени эти размеры у однолетней хвое – $25 \pm 1,5$ мкм у многолетней – $32 \pm 1,5$ мкм. Среди клеток мезофилла встречаются типичные астроклереиды, выполняющие механическую роль и препятствующие сдавливанию клеток.



В мезофилле расположены два смоляных хода диаметром до 100 мкм, примыкающих к нижней эпидерме и удаленных от краев хвоинки на 100–150 мкм. Ход окружен клетками гиподермы и выстлан изнутри эпителиальными клетками. Снаружи смоляные ходы окружены однослойным кольцом склеренхимных волокон, которые смыкаются с волокнами гиподермы с абаксиальной стороны хвоинки.

В центральной части хвоинки *эндодерма* отграничивает пространство, цилиндрическое на поперечном срезе диаметром 300–350 мкм, с располагающимся в нем комплексом проводящих тканей. Клетки эндодермы овально-прямоугольные в поперечном сечении, с несколько утолщенной внешней стенкой и четко выраженными поясками Каспари. Диаметр клеток варьирует от условий в следующих пределах: на свету у хвоинок первого года – $23 \pm 0,5$ мкм, у многолетней – $30 \pm 2,0$ мкм. В тени – $23 \pm 0,8$ мкм у первого года и $32 \pm 0,6$ мкм у многолетней хвои. Высота эндодермальных клеток на свету у хвои первого года равна $9 \pm 0,4$ мкм, у многолетней хвои – $18 \pm 0,5$ мкм. В тени у однолетней – $12 \pm 0,6$ мкм, у многолетней хвоинки – $23 \pm 0,4$ мкм.

Среди клеток *трансфузионной ткани*, представленной живыми клетками со стороны флоэмы и мертвыми со стороны ксилемы, располагается удвоенный проводящий пучок. Имея общую округлую форму, он разделен на две части клиновидным участком из паренхимных клеток, проходящим через флоэмную и ксилемную части пучка. За пределами ксилемной группы клетки луча в поперечном сечении в 2–3 раза превышают поперечник трахеид и имеют более утолщенные и лигнифицированные клеточные стенки.

Из полученных нами данных видно, что количественные характеристики клеток как на свету, так и в тени в процессе онтогенеза листа возрастают. Например, ширина клеток гиподермы хвоинки первого года на свету равна $12 \pm 1,1$ мкм, эти же параметры у многолетней хвои равны $19 \pm 0,8$ мкм. Высота клеток гиподермы у хвоинки первого года на свету – $6 \pm 0,2$ мкм, эти же параметры у многолетней хвои достигают $11 \pm 0,2$ мкм (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние освещенности на качественные и количественные признаки листа псевдотсуги тиссолистной

Признаки	Условия								
	Свет				Тень				
	Возраст листа (лет)								
	1	2	3	5	1	2	3	5	
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	
ЭПИДЕРМА	Форма поперечного сечения основных клеток	округлые							
	Тангентальный размер основных клеток, мкм	$8 \pm 0,4$	$11 \pm 0,4$	$14 \pm 0,4$	$22 \pm 0,4$	$8 \pm 0,5$	$12 \pm 0,6$	$15 \pm 0,1$	$18 \pm 0,1$
	Радиальный размер основных клеток, мкм	$16 \pm 0,2$	$18 \pm 0,2$	$20 \pm 0,2$	$21 \pm 0,2$	$15 \pm 0,2$	$19 \pm 0,3$	$21 \pm 0,2$	$22 \pm 0,2$



Продолжение таблицы 2

1		2	3	4	5	6	7	8	9
	Форма просвета основных клеток на поперечном срезе	овальная							
	Характер утолщения стенок основных клеток	внешняя утолщена больше							
	Толщина внешних стенок основных клеток, мкм	2±0,1	2,6±0,1	3,4±0,2	4,1±0,1	2,1±0,1	3,2±0,1	3,8±0,2	5,1±0,2
	Характер внутренней поверхности оболочек основных клеток	ровные							
УСТЫИЧНЫ АППАРАТ	Тип устьичного аппарата	энциклотный, тетрацитный							
	Расположение устьиц на гранях листа	только с морфологически нижней стороны листа							
	Количество полос на каждой стороне от жилки	6–8	6–8	6–8	6–8	6–8	6–8	6–8	6–8
	Общая картина расположения устьиц	продольные ряды							
	Расположение замыкающих клеток по отношению к околоустьичным	погруженные							
ГИПОДЕРМА	Число слоев склеренхимы	один							
	Форма поперечного сечения клеток	овальная							
	Характер расположения	не образует сплошного слоя							
	Толщина клеточных оболочек, мкм	2±0,1	3±0,2	4±0,2	5±0,3	3±0,2	4±0,2	5±0,1	6±0,2
	Форма просвета клеток на поперечном срезе	овальная							
	Тангентальный размер клеток, мкм	12±1,1	15±0,8	15±0,9	19±0,8	14±0,5	16±0,6	17±0,1	18±0,1
	Радиальный размер клеток, мкм	6±0,2	8±0,3	10±0,3	11±0,2	7±0,1	9±0,3	10±0,5	12±0,4



Продолжение таблицы 2

1		2	3	4	5	6	7	8	9
СМОЛЯНЫЕ ХОДЫ	Количество смоляных ходов	2	2	2	2	1	2	2	2
	Диаметр смоляных ходов, мкм	81±0,5	84±2,3	87±3,0	92±2,0	83±0,8	91±1,0	94±1,0	99±0,9
	Расположение смоляных ходов	субгиподермально							
	Характер оболочек клеток обкладки	тонкостенные							
	Количество слоев клеток обкладки	один							
МЕЗОФИЛЛ	Характер клеточных оболочек	извилистый							
	Тангентальный размер клеток, мкм	24±2,0	25±2,0	28±2,3	31±2,0	25±1,5	27±2,0	28±2,0	32±1,5
	Радиальный размер клеток, мкм	53±2,0	61±2,0	72±2,0	80±4,0	55±2,3	63±2,3	74±5,0	92±5,0
	Форма клеток субгиподермального слоя	овальная							
	Тангентальный размер субгиподермальных клеток, мкм	23±2,0	25±0,7	27±0,8	37±1,6	32±1,3	42±1,1	52±1,2	52±1,1
	Радиальный размер субгиподермальных клеток, мкм	73±1,7	75±2,0	76±2,0	77±2,7	67±0,7	73±1,7	77±1,9	91±2,0
ЭНДОДЕРМА	Форма поперечного сечения клеток	овальная							
	Тангентальный размер клеток, мкм	23±0,5	25±2,0	27±0,9	30±2,0	23±0,8	26±0,9	28±0,8	32±0,6
	Радиальный размер клеток, мкм	9±0,4	12±0,5	15±0,6	18±0,5	12±0,6	15±0,6	18±0,3	23±0,4
	Характер эндодермы по величине поперечного сечения клеток	гомогенная							
	Характер утолщения оболочек клеток	внешняя утолщена больше							
	Степень выраженности пояска Каспари	четко							



Окончание таблицы 2

1		2	3	4	5	6	7	8	9
ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА	Форма поперечного сечения пространства, ограниченного эндодермой	овальная							
	Диаметр пространства, ограниченного эндодермой, мкм	307±2,6	310±2,7	320±3,1	325±3,5	198±3,1	211±2,5	299±3,2	303±2,5
	Радиальный размер проводящего пучка, мкм	85±1,6	98±1,7	106±2,3	111±2,2	67±1,3	83±1,6	94±1,8	96±1,9
	Радиальный размер ксилемы, мкм	27±1,3	35±1,5	40±1,2	44±1,1	24±1,3	30±1,1	40±0,9	41±0,6
	Количество трахеид в радиальном ряду	3	3–4	3–4	3–4	3	3–4	3–4	3–4
	Радиальный размер трахеид, мкм	9±0,2	10±0,1	11±0,2	11±0,2	8±0,25	8±0,1	10±0,2	10±0,1
	Радиальный размер флоэмы, мкм	57±1,1	65±1,6	66±1,2	66±1,2	42±0,5	53±2,0	55±2,0	55±0,7
	Количество ситовидных клеток в радиальном ряду	6–7	6–7	6–7	6–7	5–6	6–7	6–7	6–7
	Радиальный размер ситовидных клеток, мкм	9±0,2	10±0,2	10±0,2	10±0,2	7±0,2	8±0,1	8±0,1	8±0,2
	Расположение пучков относительно эндодермы	в центре							

Выводы

1. Свет как экологический фактор влияет только на количественные характеристики клеток тканей как в однолетней, так и в пятилетней хвое. Качественные признаки анатомического строения не подвергаются воздействию различной степени освещенности.
2. Количественные параметры клеток всех тканей увеличиваются с возрастом хвои как на свету, так и в тени. Это характерно для обоих исследуемых видов.
3. Наиболее значительно с возрастом хвоинки изменяются параметры клеток эпидермы и мезофилла в различных условиях освещенности.
4. У обоих исследованных видов происходит утолщение внешней стенки эпидермальных клеток и у однолетней хвои, и у пятилетней как на освещенной стороне, так и при недостаточном освещении.
5. Клетки мезофилла тисса ягодного и лжетсуги тиссолистной на свету и в тени у однолетней и многолетней хвои обладают одинаковой тенденцией изменения параметров клеток и наиболее подвержены влиянию степени освещенности из всех исследованных признаков. Возможно, это связано с тем, что оба вида являются, по определе-



нию, теневыносливими растениями [5].

Как показали наши исследования строения листа тисса ягодного и лжетсуги тиссолистной, он очень лабилен в зависимости от условий освещения и обладает большим приспособительным спектром. Это является одной из причин использования с давних времен этих видов в озеленении дендропарков, ландшафтных композиций и других зеленых насаждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анели, Н.А. Атлас эпидермы листа / Н.А. Анели. – Тбилиси : Мецниереба, 1975. – 108 с.
2. Анели, Дж.Н. Способ получения микроструктурных отпечатков эпидермы различных органов растений / Дж.Н. Анели, Н.А. Анели // Сообщ. АН ГССР. – 1986. – 122, № 3. – С. 589–592.
3. Гамалей, Ю.В. Развитие хлоренхимы листа / Ю.В. Гамалей, Г.В. Куликов – Л. : Наука, 1978. – 192 с.
4. Еремин, В.М. Атлас анатомического строения коры сосновых СССР / В.М. Еремин – М. : Министерство юстиции СССР, 1978. – 202 с.
5. Еремин, В.М. Сравнительная анатомия листа Сосновых : монография / В.М.Еремин, С.В. Зеркаль. – Брест : Изд-во БрГУ, 2002. – 182 с.
6. Зайцев, Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М. : Наука, 1990. – 295 с.
7. Лотова, Л.И. Анатомия коры хвойных / Л.И. Лотова. – М. : Наука. – 1987. – 152 с.
8. Мирославов, Е.А. Структура и функция эпидермиса листа покрытосеменных растений / Е.А. Мирославов. – Л. : Наука, 1974. – 119 с.
9. Прозина, М.Н. Ботаническая микротехника / М.Н. Прозина. – М. : Высшая школа, 1960. – 130 с.
10. Черепанов, С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / С.К. Черепанов. – СПб. : Мир и семья – 95, 1990. – 990 с.
11. Шостаковский, С.А. Систематика высших растений / С.А. Шостаковский. – М. : Высшая школа. – 1971. – 352 с.
12. Esau, K. Plant Anatomy / K. Esau. – New-York – London, 1965. – 565 p.
13. Solereder, H. Systematische Anatomie der Dicotyledone / H. Solereder. – Stuttgart, 1908. – 422 S.

S.V. Zerkal, S.N. Volosiuk, A.P. Kolbas. The Comparative Analysis of Anatomical Structure of a Leaf of a Taxus baccata Lindl. and Pseudotsuga taxifolia Lindl. of Different Degrees of Illumination

The influence of the illumination on anatomical structure of a leaf of a *Taxus baccata* Lindl. and *Pseudotsuga taxifolia* Lindl. is studied. The influence of different degrees of illumination on anatomical features of a first and second-year-old leaf is examined. The method of research is comparative-anatomical. The results of the measurements have been subjected to statistics analysis. It has been discovered that the quantitative anatomical features of a leaf of a *Taxus baccata* Lindl. and *Pseudotsuga taxifolia* Lindl. are influenced by the illumination, while the qualitative features are not subjected to any changes.



УДК 612.014

Н.К. Саваневский, Г.Е. Хомич, Л.А. Левыкина

**ПОСТУРАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ
КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ У ДЕВУШЕК,
ДОЛГО ПРОЖИВАВШИХ В РАЙОНАХ
РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Импедансометрическим методом установлено, что у девушек, много лет проживавших в районах радионуклидного загрязнения, хуже осуществляются вазомоторные реакции мелких и крупных кровеносных сосудов ног, препятствующие гравитационному перемещению крови при вертикальном положении и положении вниз головой тела человека.

Накопленный многими исследователями [1; 2; 3] фактический материал дает основание считать, что патологические, вызванные радиоактивным облучением изменения в кровеносной системе происходят на клеточном уровне и связаны с нарушением взаимодействия регуляторных механизмов. Это в свою очередь приводит к ухудшению гемодинамических параметров кровоснабжения, которое начинается с микрососудистого русла.

Радионуклиды, накапливаясь в тканях, влияют на эластичность стенок периферических кровеносных сосудов [1], что отражается на гемодинамических показателях сердечно-сосудистой системы. Применение дозированных физических нагрузок позволяет более детально анализировать состояние сердца и сосудов у людей, подвергавшихся и не подвергавшихся хроническому воздействию низкоинтенсивного радиоактивного облучения.

Наиболее частым изменением положения тела человека в пространстве является переход из горизонтального положения в вертикальное и обратно. В предупреждении гравитационного шока важнейшая роль принадлежит компенсаторным реакциям кровеносных сосудов, препятствующим гравитационному перемещению крови в кровяном русле, или так называемым постуральным реакциям [4; 5]. При переходе тела человека из вертикального положения в горизонтальное увеличиваются систолический и минутный объемы крови, уменьшаются частота пульса и кровяное давление [6]. При изменении положения из горизонтального в вертикальное под влиянием гравитации возникает депонирование крови в сосудах нижней половины тела, величина которого зависит от тонуса кровеносных сосудов нижних конечностей. Чем ниже тонус венозных стенок и чем менее энергично кровь присасывается к сердцу, тем меньшим является венозный возврат крови к сердцу [5; 6; 7]. Поскольку низкоинтенсивное радиоактивное облучение отражается на состоянии стенок кровеносных сосудов [1], то следует ожидать его влияния на сосудодвигательные реакции, компенсирующие гравитационные перемещения крови при переходе человека из горизонтального положения в вертикальное и обратно.

Целью нашей работы явилось исследование постуральных реакций периферических кровеносных сосудов при изменении положения тела у молодых людей, много лет проживавших и не проживавших на местности с повышенным радиоактивным фоном.

Обследуемую группу составили девушки, которые более 15 лет проживали в Лунинецком и Столинском районах Брестской области на местности, имеющей радиоактивное загрязнение по цезию-137 от 1 до 5 Кюри на км². Контрольную группу со-



ставили девушки, не проживавшие и не находившиеся в зоне радиоактивного контроля. Девушки на момент обследования не имели жалоб на состояние сердечно-сосудистой системы, не имели хронических заболеваний и были в возрасте 17–19 лет.

По методике А.А. Астахова [8] на многофункциональном мониторе кровенаполнения и диагностики сердечно-сосудистой системы «Кентавр–1» с каждым ударом пульса обследуемой студентки одновременно регистрировались следующие показатели: частота сердечных сокращений; систолическое артериальное давление; амплитуда револны пальца ноги (АРП); амплитуда револны голени (АРГ).

Обследуемая девушка во время эксперимента помещалась на электродное одеяло, закрепленное на поворотном столе, крышка которого могла поворачиваться на 90° вверх и вниз от горизонтальной плоскости. Электрическое сопротивление, или импеданс, тканей между электродами измерялось с помощью реографа Р4-02. С реографа сигналы поступали в монитор кровенаполнения «Кентавр–1», где производилась их компьютерная обработка.

Функциональными нагрузками для обследуемых девушек являлись: 1) ортостатическая проба с нахождением в вертикальном положении 10 минут; 2) клиностатическая проба с нахождением в горизонтальном положении 10 минут; 3) нахождение тела девушки в положении вниз головой под углом 30° к горизонту в течение 1 минуты. Перевод тела обследуемой студентки в необходимое положение осуществлялось с помощью поворотного стола.

В соответствии с данными литературы [9; 10], о нормальном, чрезвычайно суженом (спазматическом) и очень сильно расслабленном состоянии микрососудов в организме человека можно судить по значениям АРП, а магистральных (крупных) кровеносных сосудов – по АРГ. При нормальном тоне и, соответственно, диаметре кровеносных сосудов у взрослого человека АРП составляет примерно 80–140 мОм, а АРГ – 80–120 мОм. При вазодилатации и гипотонии АРП равняется 150–300 мОм, АРГ – от 120 до 300 мОм. При умеренном сужении сосудов значения АРП и АРГ уменьшаются до 70–30 мОм, а при очень сильном сужении кровеносных сосудов величины АРП и АРГ падают ниже 30 мОм [10].

Наши исследования показали, что в горизонтальном положении в состоянии покоя как в контрольной, так и в обследуемой группе встречались девушки с нормальным, пониженным и высоким тонусом мелких и крупных кровеносных сосудов ног. Однако у девушек, много лет проживавших на местности, загрязненной радионуклидами, достоверно реже, чем у девушек, не находившихся в районах с повышенным радиоактивным фоном, наблюдался нормальный тонус микро- и макрососудов нижних конечностей.

Проведенный дифференцированный анализ показателей АРП и АРГ у девушек обследуемой и контрольной групп, имевших нормальный тонус кровеносных сосудов, выявил достоверные различия в их средних значениях как в состоянии покоя, так и при выполнении функциональных проб (таблица 1).

Так, в состоянии покоя в горизонтальном положении среднее значение АРП у студенток контрольной группы равнялось $104,7 \pm 0,9$ мОм, а АРГ – $115,6 \pm 0,9$ мОм. У девушек, более 15 лет проживавших на местности с повышенным радиоактивным фоном, показатели АРП и АРГ были достоверно ниже и составляли соответственно $96,8 \pm 1,2$ мОм и $106,9 \pm 1,1$ мОм. Перевод студентов с помощью поворотного стола в вертикальное положение, т. е. пассивное выполнение ортостатической пробы, приводил к существенному сужению кровеносных сосудов нижних конечностей, о чем свидетельствовало значительное снижение АРП и АРГ (таблица 1, серии 3, 4).



Таблица 1 – Амплитуда АРП и АРГ при выполнении функциональных проб девушками, имевшими нормальный тонус микро- и макрососудов ног

№ серии	Серия опытов	АРП (МОм)		АРГ (МОм)	
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	P	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	P
1	Горизонтальное положение в покое (контрольная группа)	104,7±0,9		115,6±0,9	
2	Горизонтальное положение в покое (обследуемая группа)	96,8±1,6	< 0,001**	106,9±1,1	< 0,01**
3	Ортостатическая проба (контрольная группа)	25,6±1,3	< 0,001*	42,3±1,2	< 0,001*
4	Ортостатическая проба (обследуемая группа)	43,5±1,7	< 0,001* < 0,001**	53,7±1,4	< 0,001* < 0,001**
5	Клиностатическая проба (контрольная группа)	102,4±1,2	> 0,05*	109,7±1,1	< 0,01*
6	Клиностатическая проба (обследуемая группа)	107,3±1,8	< 0,001* < 0,001**	98,8±1,2	< 0,001* < 0,001**
7	Положение вниз головой (контрольная группа)	179,6±1,7	< 0,001*	164,3±1,6	< 0,001*
8	Положение вниз головой (обследуемая группа)	131,2±2,1	< 0,001* < 0,001**	151,2±1,8	< 0,001* < 0,001**

Примечание – различия по отношению к покою обозначены одной звездочкой, по отношению к аналогичной серии контрольной группы – двумя звездочками

Известно, что активные ортостатические реакции организма обусловлены депонированием крови в емкостных сосудах нижней половины тела под влиянием гравитации. При этом снижается венозный возврат крови и уменьшается ударный объем сердца до 30%. Однако у здорового человека при переходе в вертикальное положение осуществляются компенсаторные реакции, способствующие поддержанию оптимального уровня кровообращения. Происходит увеличение частоты сердечных сокращений, повышение активности симпатической нервной системы, сужение артериальных и венозных сосудов [6; 7].

Выраженность этих компенсаторных реакций может являться показателем функционального состояния сердечно-сосудистой системы и ее устойчивости к действию неблагоприятных факторов. Было установлено, что выполнение ортостатической пробы вызывало уменьшение АРП в контрольной группе на 75,5%, а в обследуемой группе – на 55,1%. В итоге значения АРП у девушек обследуемой группы, начиная с 4-й минуты нахождения в вертикальном положении и до окончания 10-минутной ортостатической пробы, в среднем равнялись 43,5±1,7 МОм. Значения АРГ, начиная с 3-й минуты нахождения в вертикальном положении и до окончания 10-минутной ортостатической пробы, в контрольной группе снижались на 63,4% и становились равными 42,3±1,2 МОм. У девушек обследуемой группы уменьшение АРГ было менее выражено, чем в контрольной группе. По сравнению с горизонтальным положением АРГ снизилась на 49,8% и составила 53,7±1,4 МОм (таблица 1, серии 3, 4).



У испытуемых контрольной группы на 3–10-й минутах нахождения в вертикальном положении среднее значение АРП оказалось равным $25,6 \pm 1,3$ мОм, что соответствует значительной вазоконстрикции. На наш взгляд, такая компенсаторная сосудодвигательная реакция на ортостатическую пробу у девушек, не находившихся в районах с повышенным радиоактивным фоном, является более адекватной, чем у испытуемых, более 15 лет проживавших в зоне радионуклидного загрязнения. Сильное сужение сосудов нижних конечностей, во-первых, не дает условий для большого оттока крови от сердца в нижнюю половину тела по артериальным сосудам, а во-вторых, способствует скорейшему венозному возврату крови. Это создает более благоприятные условия как для сердечной деятельности, так и для кровоснабжения головного мозга. Устраняется опасность гравитационного шока, достаточно часто наблюдаемого при резком ухудшении кислородного обеспечения нервных центров в результате быстрого перехода тела человека из горизонтального в вертикальное положение [5; 6].

Достаточно высокие величины АРП и АРГ у девушек обследуемой группы при выполнении ортостатической пробы свидетельствуют о достаточно широком просвете кровеносных сосудов нижних конечностей и депонировании в них значительного объема крови. Это может приводить к уменьшению венозного возврата крови к сердцу и недостаточности кровообращения в верхней половине тела. Предотвращение таких явлений в данных условиях возможно при усилении сердечной деятельности и возрастании нагрузки на миокард. Можно с большой уверенностью предполагать, что сосудодвигательные рефлексy, компенсирующие гравитационное перемещение крови по кровеносным сосудам ног, слабее осуществляются у девушек, долго проживавших в районах радиационного загрязнения.

После 10-минутного нахождения в вертикальном положении девушек переводили в горизонтальное положение, т. е. они пассивно выполняли клиностатическую пробу. Было обнаружено, что выполнение клиностатической пробы приводило к значительному повышению, по сравнению с ортоположением значений АРП, которые начинали приближаться к уровню покоя в контрольной группе на 2-й минуте, а в обследуемой группе – на 3-й минуте. Так, на 2-й минуте клиностатической пробы среднее значение АРП у девушек, не находившихся на радиационно загрязненной территории, равнялось $102,4 \pm 1,2$ мОм (таблица 1, серия 5), что достоверно не отличалось от уровня покоя. В это же время у девушек, много лет проживавших в зоне радиационного контроля, процесс поступательного возвращения тонуса мелких кровеносных сосудов к норме еще продолжался, показатели АРП были существенно выше (таблица 1, серия 6), чем в состоянии покоя. Более медленное восстановление просвета микрососудов нижних конечностей к фоновому уровню при выполнении клиностатической пробы в обследуемой группе, по сравнению с контролем, по-видимому, обусловлено некоторым ослаблением механизмов регуляции сосудистого тонуса.

При выполнении клиностатической пробы также происходило значительное увеличение показателей АРГ по сравнению с наблюдавшимися при ортостатической пробе. Так, на 2-й минуте клиностатической пробы среднее значение АРГ у девушек контрольной группы равнялось $109,7 \pm 1,1$ мОм (таблица 1, серия 5), что все еще было на 5,1% ниже, чем в состоянии покоя, т. е. до выполнения функциональных проб.

У студенток, долго проживавших в районах с повышенным радиоактивным фоном, выполнение клиностатической пробы также, как и в контрольной группе, вызывало увеличение показателей АРГ по сравнению с регистрировавшимися в вертикальном положении. Однако на 2-й минуте нахождения в клиноположении значения АРГ



были на 7,6% ниже, чем до выполнения функциональных проб и составляли $98,8 \pm 1,2$ мОм (таблица 1, серия 6),

Перевод тела человека в положение головой вниз создает условия, при которых гравитационные возбуждения на гемодинамику во многом противоположны наблюдениям при ортостатической пробе. Отмечается увеличение ударного объема крови и замедление частоты сердечных сокращений [6]. Увеличивается венозный возврат к сердцу от нижних конечностей и органов брюшной полости, а также облегчается приток артериальной крови к головной части тела. Данное обстоятельство требует включения соответствующих компенсаторных, в том числе и сосудодвигательных, механизмов с целью нормализации гемодинамики в этих условиях.

Исследования показали, что у девушек, имевших в состоянии покоя нормальный тонус мелких кровеносных сосудов нижних конечностей, как в контрольной, так и в обследуемой группах перевод тела в положение головой вниз под углом 30° к горизонту вызывал достоверное снижение тонуса и вазодилатацию мелких и магистральных кровеносных сосудов нижних конечностей. Это проявлялось в увеличении значений АРП по сравнению с уровнем покоя в контрольной группе до $179,6 \pm 1,7$ мОм (на 77,3%), а в обследуемой группе – до $131,2 \pm 2,1$ мОм (на 54,7%). Значения АРГ в контрольной группе выросли по сравнению с горизонтальным положением в покое на 42,1%, а в обследуемой группе – на 41,4% (таблица 1, серии 7, 8).

Полученные результаты позволяют предположить, что у девушек, более 15 лет проживавших в районах радионуклидного загрязнения, вклад микрососудов нижних конечностей в депонирование крови, препятствующее гравитационному перемещению крови в кровеносном русле, является менее адекватным, чем у испытуемых, не находившихся на местности с повышенным радиоактивным фоном. Сравнение показателей АРГ в покое и при выполнении функциональных проб у девушек контрольной и обследуемой групп, имевших фоновый нормальный тонус магистральных кровеносных сосудов ног, дает основание сделать следующее предположение. У девушек, много лет проживавших на местности, загрязненной радионуклидами, в состоянии покоя кровеносные сосуды голени имеют более высокий тонус, чем в контрольной группе ($p < 0,001$). Констрикторная и дилататорная способность этих сосудов менее выражена по сравнению с контролем, что проявляется в более высоких значениях АРГ при выполнении ортостатической пробы и в более низких величинах АРГ при выполнении клиностатической пробы и пробы с принятием положения тела вниз головой под углом 30° к горизонту. Также есть основания предполагать, что при изменении положения тела человека в пространстве наиболее адекватно регуляция кровообращения осуществляется при фоновом нормальном тонусе кровеносных сосудов нижних конечностей.

Во второй серии экспериментов исследовались особенности сосудодвигательных реакций у испытуемых, имевших в горизонтальном положении в покое пониженный тонус мелких кровеносных сосудов нижних конечностей. В таблице 2 представлены средние значения АРП и АРГ в покое и при изменении положения тела в пространстве у девушек, проживавших и не проживавших в районах радионуклидного загрязнения.

Было установлено, что в состоянии покоя в горизонтальном положении у девушек контрольной группы АРП равнялась $178,5 \pm 1,3$ мОм, АРГ – $129,3 \pm 1,5$ мОм (таблица 2, серия 1). У испытуемых обследуемой группы значения АРП и АРГ были достоверно выше и составляли, соответственно, $197,9 \pm 1,2$ и $137,1 \pm 1,3$ мОм (таблица 2, серия 2), что свидетельствует о более выраженной по сравнению с контрольной группой вазодилатации сосудистого русла нижних конечностей.



Выполнение ортостатической пробы приводило к констрикторным компенсаторным реакциям мелких и магистральных кровеносных сосудов ног у девушек обеих групп (таблица 2, серии 3, 4). Вместе с тем антигравитационные сосудосуживающие рефлекс лучше осуществлялись у испытуемых, не находившихся на местности с повышенным радиоактивным фоном, что проявлялось в изменениях средних значений АРП. Так, в контрольной группе перевод девушек в вертикальное положение вызывал уменьшение АРП на 70,1%, в результате чего начиная с третьей минуты нахождения девушек в ортоположении значения АРП становились равными $53,4 \pm 1,5$ мОм. Это свидетельствует о переходе мелких кровеносных сосудов из гипотонического состояния сначала в нормотоническое, а затем, начиная с 3-й минуты выполнения пробы, в состояние, пограничное с гипертензивным.

Аналогичная реакция, судя по сдвигам показателей АРГ, наблюдалась также со стороны крупных кровеносных сосудов ног. Было обнаружено, что в контрольной группе АРГ снизилась на 64,1%, в результате чего начиная с 3-й минуты нахождения девушек в вертикальном положении средняя величина АРГ становилась равной $46,4 \pm 1,6$ мОм (таблица 2, серия 3). Это свидетельствует о сужении магистральных сосудов сначала до нормального их диаметра, а затем к 3-й минуте выполнения ортостатической пробы до состояния повышенного тонуса.

На основании результатов параллельного измерения частоты сердечных сокращений и систолического артериального давления можно предположить о наличии почти удовлетворительной компенсаторной антигравитационной реакции со стороны микро- и макрососудов ног у девушек контрольной группы на ортостатическую пробу.

Таблица 2 – АРП и АРГ у девушек, имевших пониженный тонус кровеносных сосудов нижних конечностей, при выполнении функциональных проб

№ серии	Серия опытов	АРП (мОм)		АРГ (мОм)	
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	P	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	P
1	Горизонтальное положение в покое (контрольная группа)	$178,5 \pm 1,3$		$129,3 \pm 1,5$	
2	Горизонтальное положение в покое (обследуемая группа)	$197,9 \pm 1,2$	< 0,001**	$137,1 \pm 1,3$	< 0,001**
3	Ортостатическая проба (контрольная группа)	$53,4 \pm 1,5$	< 0,001*	$46,4 \pm 1,6$	< 0,001*
4	Ортостатическая проба (обследуемая группа)	$96,1 \pm 1,7$	< 0,001* < 0,001**	$61,3 \pm 1,5$	< 0,001* < 0,001**
5	Клиностатическая проба (контрольная группа)	$176,7 \pm 2,0$	> 0,05*	$131,6 \pm 1,9$	> 0,05*
6	Клиностатическая проба (обследуемая группа)	$167,9 \pm 2,3$	< 0,001* < 0,01**	$141,5 \pm 1,6$	< 0,05* < 0,001**
7	Положение головы вниз (контрольная группа)	$162,5 \pm 1,7$	< 0,001*	$191,0 \pm 2,1$	< 0,001*
8	Положение головы вниз (обследуемая группа)	$99,2 \pm 2,8$	< 0,001* < 0,001**	$163,9 \pm 2,2$	< 0,001* < 0,001**

Примечание – различия по отношению к покою обозначены одной звездочкой, по отношению к аналогичной серии контрольной группы – двумя звездочками



В обследуемой группе переход в вертикальное положение вызывал у девушек снижение АРП на 61,4%, значения которой на 4–10 минутах нахождения в ортоположении становились равными $96,1 \pm 1,7$ мОм. Одновременно происходило снижение АРГ на 55,3%, величина которой на 3–10 минутах нахождения в вертикальном положении уменьшалась до $61,3 \pm 1,5$ мОм (таблица 2, серия 4). Однако в данном случае, судя по значениям АРП и АРГ, просвет мелких и крупных сосудов ног оставался значительным, и при выполнении ортостатической пробы в кровяном русле происходил застой крови, вызванный гравитационным воздействием. В результате резко падало систолическое артериальное давление в верхней половине тела, что дает основание считать неудовлетворительной компенсаторную антигравитационную вазоконстрикторную реакцию у девушек, много лет проживавших в зоне радиационного загрязнения.

После 10-минутного нахождения в вертикальном положении испытуемые выполняли клиностатическую пробу. Было обнаружено, что выполнение данной нагрузки приводило к значительному повышению, по сравнению с ортоположением, показателей АРП и АРГ, которые начинали приближаться к уровню покоя к началу 2-й минуты, а в обследуемой группе – к началу 3-й минуты пробы. На 2-й минуте после перехода в горизонтальное положение АРП и АРГ у девушек, не находившихся в зоне радионуклидного загрязнения, уже достоверно не отличались от уровня покоя (таблица 2, серия 5). У девушек, более 15 лет проживавших на местности с повышенным радиоактивным фоном, на 2-й минуте выполнения клиностатической пробы показатели АРП и АРГ были еще достоверно выше (таблица 2, серия 6), чем до выполнения функциональных проб. Восстановление к исходным показателям происходило к концу 3-й минуты.

После возвращения показателей АРП и АРГ до уровня покоя и 5-минутного отдыха девушек переводили в положение вниз головой под углом 30° к горизонту. Исследования показали, что у испытуемых, имевших в состоянии покоя пониженный тонус мелких кровеносных сосудов нижних конечностей, данная функциональная проба вызывала сдвиги АРП (таблица 2, серии 7, 8), противоположные наблюдавшимся у девушек с нормальным тонусом микрососудов (таблица 1, серии 7, 8).

Так, в контрольной группе на протяжении 1-минутного нахождения студенток в положении головой вниз наблюдалось снижение величины АРП на 9,0% ($p < 0,001$). По фактическим значениям уменьшение АРП было не очень большим, с $178,5 \pm 1,3$ мОм в состоянии покоя до $162,5 \pm 1,7$ мОм в положении головой вниз, что, по-видимому, в данном случае не является показателем значительного сужения микрососудистого русла. Однако главным, на наш взгляд, здесь является тот факт, что на фоне исходного гипотонического состояния мелких кровеносных сосудов нижних конечностей подавляются их способности к дальнейшему расширению и депонированию крови. Поэтому при нахождении в положении головой вниз микрососуды ног не только не участвуют в компенсаторном депонировании крови, препятствующем ее гравитационному венозному оттоку к сердцу, но и в связи с уменьшением в них крови подвергаются вазоконстрикции, что проявляется в снижении по сравнению с уровнем покоя значений АРП (таблица 2, серия 7).

Аналогичная, только более выраженная реакция наблюдалась у студенток обследуемой группы. Было обнаружено, что при нахождении в положении головой вниз под углом 30° к горизонту среднее значение АРП уменьшалось на 49,9%, т. е. с $197,9 \pm 1,2$ мОм в состоянии покоя до $99,2 \pm 2,8$ мОм в положении головой вниз (таблица 2, серия 8). Это свидетельствует, во-первых, о значительном уменьшении количества крови в мелких кровеносных сосудах ног и, во-вторых, об отсутствии компенсаторных



сосудодвигательных реакций микрососудов, направленных на предотвращение гравитационного оттока крови от нижних конечностей к верхней половине тела.

Противоположная по сравнению с микрососудами оказалась постуральная реакция магистральных сосудов ног у девушек в положении вниз головой, на что указывали сдвиги значений АРГ. Исследования показали, что при данной нагрузке у испытуемых обеих групп происходит увеличение диаметра и кровенаполнения магистральных сосудов голени, проявляющееся в значительном возрастании значений АРГ. Так, в контрольной группе наблюдалось увеличение величины АРГ на 47,7%, или на 61,7 мОм (таблица 2, серия 7). Это свидетельствовало о значительном депонировании крови в магистральных сосудах ног, что, по-видимому, является вполне адекватной антигравитационной компенсаторной реакцией, препятствующей чрезмерному притоку крови к сердцу и краниальной части тела, находившейся в условиях данной пробы ниже уровня горизонта.

У девушек обследуемой группы в положении вниз головой так же, как и в контрольной группе, происходило увеличение диаметра кровеносных сосудов голени. Об этом свидетельствовало повышение значений АРГ на 19,5%, или на 26,8 мОм (таблица 2, серия 8). Однако, на наш взгляд, такая небольшая вазодилатация магистральных сосудов голени недостаточна для предотвращения гравитационного притока крови к сердцу и головной части тела, тем более что одновременно наблюдалось значительное повышение тонуса микрососудов нижних конечностей.

Специфические результаты были получены при исследовании гемодинамики у девушек, имевших в горизонтальном положении в состоянии покоя высокий тонус кровеносных сосудов нижних конечностей. Согласно данным литературы [9; 10], о сильном уменьшении просвета и повышении тонуса микрососудов свидетельствует снижение показателей АРП и АРГ ниже 30 мОм.

В результате исследований было установлено, что в состоянии покоя в горизонтальном положении значения АРП достоверно не различались у девушек контрольной и обследуемой групп (таблица 3, серия 1, 2). Низкие амплитуды револны пальца ноги в обеих группах свидетельствуют о состоянии мелких кровеносных сосудов нижних конечностей, приближающемся к спазматическому. Что же касается АРГ, то ее величина в контрольной группе была достоверно выше, чем в обследуемой (таблица 3, серии 1, 2). Вместе с тем низкие значения АРГ в обеих группах указывают на выраженную вазоконстрикцию магистральных сосудов голени и на малое их участие в депонировании крови.

Выполнение ортостатической пробы вызывало еще большее сужение кровеносных сосудов ног у девушек обеих групп, что отражалось в достоверном уменьшении значений АРП и АРГ (таблица 3, серии 3, 4). В контрольной группе с 3-й минуты нахождения в вертикальном положении среднее значение АРГ снижалось на 39,7% (таблица 3, серия 3), а в обследуемой группе – на 22,7% (таблица 3, серия 4). Следует отметить, что в результате такой вазоконстрикции кровенаполнение макрососудов нижних конечностей становилось примерно одинаковым у студенток обеих групп, на что указывало отсутствие при данной пробе различий ($p > 0,05$) между показателями АРГ в контрольной и обследуемой группах. Также можно предположить, что величина наблюдаемой сосудодвигательной реакции при малом исходном диаметре сосудов вполне достаточна для уменьшения гравитационного оттока крови от сердца при вертикальном положении тела.

Учитывая то обстоятельство, что из-за выраженной вазоконстрикции депонирование крови в мелких кровеносных сосудах нижних конечностей в горизонтальном положении было незначительным, можно предположить, что даже такое небольшое суже-



ние кровяного русла препятствовало гравитационной задержке крови в микрососудах и уменьшению венозного возврата к сердцу при переходе в вертикальное положение.

Выполнение клиностатической пробы приводило к достаточно быстрому возрастанию средних значений АРП и АРГ, которые уже на 2-й минуте после перехода из вертикального в горизонтальное положение достоверно не отличались от уровня покоя как в контрольной, так и в обследуемой группах (таблица 3, серии 5, 6).

Своеобразной оказалась реакция микрососудистого русла ног в положении тела головой вниз под углом 30° к горизонту. У девушек из контрольной группы 60-секундное выполнение данной функциональной пробы вызывало увеличение значений АРП по сравнению с уровнем покоя на 17,6% (таблица 3, серия 7). Однако, судя по очень малым показателям АРП ($30,8 \pm 1,5$ мОм), мелкие кровеносные сосуды ног оставались в суженном состоянии, что значительно снижало их возможности к депонированию крови и воспрепятствованию гравитационного венозного притока к сердцу во время положения тела вниз головой. Что же касается студенток обследуемой группы, то у них переход тела в наклонное положение не вызывал достоверного изменения АРП (таблица 3, серия 8). Следовательно, микрососуды нижних конечностей совсем не принимали участия в компенсаторных реакциях перераспределения крови при выполнении указанной функциональной пробы, что усложняло функционирование других звеньев сердечно-сосудистой системы.

Таблица 3 – АРП и АРГ у девушек, имевших высокий тонус микро- и макрососудов нижних конечностей, при выполнении функциональных проб

№ серии	Серия опытов	АРП (мОм)		АРГ (мОм)	
		$\bar{x} \pm S \bar{x}$	P	$\bar{x} \pm S \bar{x}$	P
1	Горизонтальное положение в покое (контрольная группа)	$26,2 \pm 0,9$		$47,3 \pm 1,1$	
2	Горизонтальное положение в покое (обследуемая группа)	$24,9 \pm 1,2$	$> 0,05^{**}$	$38,4 \pm 1,2$	$< 0,001^{**}$
3	Ортостатическая проба (контрольная группа)	$19,7 \pm 1,2$	$< 0,01^*$	$28,5 \pm 1,5$	$< 0,001^*$ $< 0,001^{**}$
4	Ортостатическая проба (обследуемая группа)	$20,2 \pm 1,3$	$< 0,05^*$ $> 0,05^{**}$	$29,7 \pm 1,6$	$< 0,001^*$ $> 0,05^{**}$
5	Клиностатическая проба (контрольная группа)	$28,9 \pm 1,4$	$> 0,05^*$	$48,1 \pm 1,3$	$> 0,05^*$
6	Клиностатическая проба (обследуемая группа)	$25,7 \pm 1,5$	$> 0,05^*$ $> 0,05^{**}$	$39,9 \pm 1,4$	$> 0,05^*$ $< 0,001^{**}$
7	Положение головой вниз (контрольная группа)	$30,8 \pm 1,5$	$< 0,05^*$	$79,4 \pm 1,6$	$< 0,001^*$
8	Положение головой вниз (обследуемая группа)	$26,3 \pm 1,6$	$> 0,05^*$ $< 0,05^{**}$	$56,7 \pm 1,7$	$< 0,001^*$ $< 0,001^{**}$

Примечание – различия по отношению к покою обозначены одной звездочкой, по отношению к аналогичной серии контрольной группы – двумя звездочками



Вазомоторная реакция магистральных сосудов голени на перевод девушек в положение вниз головой оказалась однонаправленной в обеих группах. Так, в контрольной группе выполнение данной функциональной пробы вызывало увеличение значений АРГ по сравнению с уровнем покоя на 67,9% (таблица 3, серия 7). Вместе с тем фактические значения АРГ ($79,4 \pm 1,6$ мОм) только приближались к нижнему пределу нормы, характерной для горизонтального положения. Это дает основание считать, что крупные кровеносные сосуды при положении тела вниз головой мало участвуют в антигравитационном компенсаторном перераспределении крови.

Аналогичная картина наблюдалась у девушек обследуемой группы. В положении вниз головой значения АРГ увеличивались по сравнению с уровнем покоя на 47,7% (таблица 3, серия 8) и становились равными $56,7 \pm 1,7$ мОм. Однако, согласно данным литературы [9; 10], такие показатели АРГ наблюдаются при повышенном тоне и констрикторном состоянии крупных кровеносных сосудов нижних конечностей. Принимая во внимание, что у многих девушек, имевших в покое повышенный тонус сосудов голени, в положении вниз головой не происходило увеличение АРГ, то можно сделать вывод о недостаточном участии кровеносных сосудов ног в компенсаторных антигравитационных вазомоторных реакциях.

Таким образом, на основании результатов, полученных при исследовании тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов в покое и при выполнении функциональных проб, можно заключить, что у девушек, более 15 лет проживавших в районах радионуклидного загрязнения, достоверно чаще, чем в контроле, наблюдалась избыточная вазоконстрикция или вазодилатация кровеносного русла. В связи с этим у них в целом чаще обнаруживались неадекватные компенсаторные сосудодвигательные рефлексы, препятствующие гравитационному перемещению крови в сосудистом русле при изменении положения тела в пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринчин, А.Н. Характеристика периферической гемодинамики у детей, подвергшихся комбинированному радиационно-химическому воздействию / А.Н. Аринчин, Н. Р. Короткая, О.М. Бортник // Десять лет после Чернобыльской катастрофы : тез. докл. междунар. науч. конф. – Минск, 1996. – С. 14.
2. Саваневский, Н.К. Влияние статической нагрузки на некоторые показатели сердечно-сосудистой системы у девушек, долго проживавших в районах радионуклидного загрязнения / Н.К. Саваневский, Г.Е. Хомич, Н.В. Гамшей // Веснік Брэсцкага унта. – 2003. – № 2. – С. 74–80.
3. Лобанок, Л.М. Модификация механизмов нейрогуморальной регуляции сердечно-сосудистой системы под воздействием низкоинтенсивных ионизирующих излучений / Л.М. Лобанок // Тез. докл. X съезда Белорусского об-ва физиологов. – Минск, 2001. – С. 92–93.
4. Осадчий, Л.И. Положение тела и регуляция кровообращения / Л.И. Осадчий. – Ленинград, 1982. – 144 с.
5. Осадчий, Л.И. Сосудистые факторы ортостатических реакций системной гемодинамики / Л.И. Осадчий, Т.В. Балужева, И.В. Сергеев // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2003. – Т. 89. – № 3. – С. 339–346.
6. Карпман, В.Л. Динамика кровообращения у спортсменов / В.Л. Карпман, Б.Г. Любина. – М., 1982. – 217 с.



7. Баевский, Р.М. Ритмы сердца у спортсменов / Р.М. Баевский, Р.Е. Мотылянская. – М., 1986. – 143 с.
8. Астахов, А.А. Многофункциональный импедансный мониторинг сердечно-сосудистой системы и легких / А.А. Астахов. – Челябинск, 1989. – 18 с.
9. Астахов, А.А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы «Кентавр») / А. А. Астахов. – Челябинск, 1996. – Ч. 1, 2. – 330 с.
10. Виноградова, Т.С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы / Т.С. Виноградова. – М., 1986. – 416 с.

N.K. Savanevski, G.E. Khomich, L.A. Levikina. Posturalnye Reactions of Peripheral Blood Vessels for Girls, Long Living in the Districts of Radionuclide Contamination

Using the impedansometrical method it is stated that girls living for a long time in districts of radionuclide contamination have bad vasomotor reaction of large and small veins of leg blood, which prevents the gravitation migration at a vertical position of a man's head downwards.



УДК 633.367.2:632.954

А.С. Шук

ИНКРУСТАЦИЯ СЕМЯН ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ГЕРБИЦИДА ЛАРЕН НА ЛЮПИН УЗКОЛИСТНЫЙ

Представлены результаты исследований по изучению влияния последействия на люпин узколистный сульфонилмочевинных гербицидов ларен и ковбой, применяемых на яровых зерновых культурах. Установлено, что предпосевная обработка семян препаратами фитовитал и сапронит позволяет устранить отрицательное влияние предшествующего применения сульфонилмочевинного гербицида ларен на урожайность люпина узколистного.

Повышенный уровень засоренности пахотных земель Беларуси требует обязательного применения химического метода борьбы с сорняками при возделывании большинства сельскохозяйственных культур. Использование на протяжении длительного времени гербицидов 2,4-Д, 2М-4Х и их аналогов привело к возникновению у многих видов сорняков резистентности к этим препаратам. Поэтому в последние годы для повышения эффективности химических мер борьбы с сорняками в республике стали достаточно широко применять гербициды нового поколения – производные сульфонилмочевины. Они характеризуются широким спектром действия, низкими нормами расхода и высокой гербицидной активностью к устойчивым сорнякам при пониженных температурах воздуха. Однако такие действующие вещества этой группы гербицидов, как хлорсульфурон, метсульфуронметил и др. обладают высокой персистентностью в почве и при определенных условиях могут оказывать отрицательное последействие на чувствительные культуры севооборота [1; 2].

Материалы и методика исследований

В 2006–2008 гг. изучали последействие сульфонилмочевинных гербицидов ларен (10 г/га) и ковбой (150 г/га), применяемых на посевах яровых пшеницы и ячменя, на последующий люпин узколистный. Опыты закладывали на среднекультуренной дерново-подзолистой песчаной почве в ЧУАП «Озяты» Жабинковского района Брестской области. Технология возделывания этих культур в опытах проводилась в соответствии с отраслевыми регламентами [3]. Гербициды в опытах вносили в соответствии со схемами с помощью ранцевого опрыскивателя при норме расхода раствора 200 л/га.

Повторность опытов 3-кратная. Площадь учетной делянки – 20–25 м². Объектами исследований служили новые сорта, созданные в НПЦ НАН Беларуси по земледелию: ячменя ярового – Якуб, пшеницы яровой – Ростань, люпина узколистного – Эдельвейс, Ашчадны, Прывабны. Норма высева ячменя составляет 4,5 млн. всхожих семян на 1 га, пшеницы – 5 млн., узколистного люпина – 1,2 млн.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием дисперсионного, корреляционно-регрессионного анализа в изложении Б.А. Доспехова [4].

Метеорологические условия в период проведения исследований существенно отличались от среднесноголетних как по температурному режиму, так и по количеству выпавших осадков. Так, за вегетационный период 2006 г. сумма эффективных температур за время от применения сульфонилмочевинного гербицида ларен на посевах яровой



пшеницы до конца сентября, когда среднесуточная температура воздуха опускается ниже 10⁰С, была на 9% выше нормы, а количество атмосферных осадков за это время превышало ее на 65%. Гидротермический коэффициент составил в этом случае 2,46 при среднемноголетнем уровне 1,63, что свидетельствует о благоприятных условиях для функционирования почвенной микрофлоры в течение вегетационного периода и активной деградации сульфонилмочевинного гербицида. Вегетационный период 2007 г. также характеризовался повышенной теплообеспеченностью, однако на протяжении большей его части имел место недостаток атмосферных осадков. Так, если сумма эффективных температур за период вегетации на 9% превышала норму, то количество осадков было на 45% ниже среднемноголетних значений при гидротермическом коэффициенте 0,83. Такая засушливая погода препятствовала интенсивному функционированию почвенной микрофлоры, что способствовало замедлению деградации сульфонилмочевинного гербицида в почве. В 2008 г. условия вегетации были благоприятными для роста и развития растений, и указанные выше показатели находились на среднемноголетнем уровне.

Результаты и их обсуждение

Различия в погодных условиях в годы, когда на посевах яровых зерновых применяли сульфонилмочевинные гербициды, и неодинаковая по этой причине микробиологическая активность почвы обусловили определенную специфичность проявления указанных выше гербицидов на рост и развитие последующего люпина узколистного. При этом необходимо отметить, что изучаемые нами биометрические показатели изменялись в неодинаковой степени под влиянием последствия сульфонилмочевинного гербицида. Так, полевая всхожесть люпина узколистного при предшествующем внесении диалена супер составила в 2007 г. в среднем по всем вариантам опыта 81,1%, а при предшествующем внесении ларена – 80,5%. В 2008 г., несмотря на менее благоприятные условия для деградации в почве ларена, сложившиеся в предшествующем году, эти показатели также находились практически на одном уровне и составили в среднем 78,2 и 77,8% (таблица 1).

Морфологически анализ растений люпина узколистного, проведенный в начале фазы бутонизации, показал, что на некоторых вариантах опыта под влиянием последствия предшествующего применения ларена отмечалась тенденция к снижению высоты растений. Если в 2007 г. этого снижения в среднем по всем вариантам опыта практически не наблюдалось, то в 2008 г. оно составило 5,3%. На длину корня этой культуры в 2007 г. последствие ларена также не оказало отрицательного влияния, и этот показатель на сравниваемых гербицидных фонах был практически одинаковым. Однако в 2008 г. за счет отрицательного последствия ларена длина корня люпина узколистного уменьшилась в среднем по всем вариантам опыта на 14,7%, что убедительно свидетельствует о значимости погодных условий в год внесения ларена для его деградации и характера проявления последствия на чувствительные культуры.

Учет урожайности зерна люпина узколистного свидетельствует о том, что на вариантах с предшествующим применением ларена отмечалось снижение этого показателя. Указанная выше закономерность связана с тем, что под влиянием последствия ларена наблюдалось некоторое снижение количества бобов на растениях люпина и массы 1 000 зерен. В 2007 г. урожайность зерна этой культуры на фоне общепринятой отвальной обработки почвы и традиционной технологии возделывания уменьшилась в результате последствия на 1,8 ц/га (9,9%). На вариантах, где семена люпина узколист-



ного перед посевом обрабатывали комплексным микроудобрением фитовитал, стимулятором роста эпин, микробиологическими препаратами сапронит и энеробактер, отрицательное последствие ларена снижалось в 2,6–3,6 раза и недобор урожайности составил 0,5–0,7 ц/га (2,4–3,5%) (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние последствия гербицидов и инкрустации семян на развитие растений люпина узколистного и его урожайность

Вариант	Предшествующее внесение диалена супер (0,6 л/га)			Предшествующее внесение ларена (10 г/га)		
	2007 г.	2008 г.	в среднем	2007 г.	2008 г.	в среднем
Полевая всхожесть, %						
протравливание семян винцит форте, 1,25 л/т - фон	81,9	82,5	82,2	81,3	79,2	80,2
фон + фитовитал, 1,2 л/т	80,6	76,7	78,6	82,5	80,0	81,2
фон + эпин, 40 г/т	77,5	75,0	76,2	76,3	76,7	76,5
фон + сапронит, 0,2 л/га	90,6	80,0	85,3	89,4	78,3	83,8
фон + энеробактер, 0,2 л/га	75,0	76,7	76,0	73,1	75,0	74,0
Высота растений, см						
протравливание семян винцит форте, 1,25 л/т - фон	54,5	33,7	44,1	53,4	31,7	42,5
фон + фитовитал, 1,2 л/т	56,1	43,6	50,0	55,3	41,0	48,1
фон + эпин, 40 г/т	55,2	42,5	48,8	55,8	40,0	47,9
фон + сапронит, 0,2 л/га	54,6	44,6	49,6	56,5	42,7	49,6
фон + энеробактер, 0,2 л/га	54,2	43,1	48,6	56,5	41,2	48,8
Длина корня, см						
протравливание семян винцит форте, 1,25 л/т - фон	11,0	8,8	9,9	11,1	7,8	9,4
фон + фитовитал, 1,2 л/т	12,1	11,7	11,8	11,8	9,4	10,6
фон + эпин, 40 г/т	11,0	11,3	11,1	11,3	9,3	10,3
фон + сапронит, 0,2 л/га	10,0	12,6	11,3	10,5	9,5	10,0
фон + энеробактер, 0,2 л/га	11,3	11,5	11,4	11,1	10,4	10,7
Урожайность, ц/га						
протравливание семян винцит форте, 1,25 л/т - фон	18,1	27,8	22,9	16,3	23,9	20,1
фон + фитовитал, 1,2 л/т	20,6	29,9	25,2	20,0	28,7	24,4
фон + эпин, 40 г/т	20,0	28,8	24,4	19,3	26,0	22,7
фон + сапронит, 0,2 л/га	21,0	30,3	25,6	20,5	29,1	24,8
фон + энеробактер, 0,2 л/га	19,6	29,2	24,4	19,0	27,7	23,4
НСР ₀₅	2,3	1,8				



В 2008 г. в результате благоприятных погодных условий в период вегетации люпин узколистный сформировал значительно большую урожайность зерна по сравнению с 2007 г. Однако погодные условия предшествующего года, препятствующие интенсивной деградации ларена, способствовали более существенному проявлению отрицательного последействия этого препарата. Недобор урожайности зерна при традиционной технологии возделывания этой культуры составил в 2008 г. 3,9 ц/га (14,0%). На вариантах, где семена люпина узколистного обрабатывали указанными выше препаратами, снижение урожайности от последействия ларена находилось в пределах 1,2–2,8 ц/га (4,0–9,7%), т. е. уменьшилось в 1,4–3,3 раза. При этом необходимо отметить, что наибольший эффект обеспечила обработка семян фитовиталом или сапронитом. Полученные результаты свидетельствуют о том, что положительный эффект от применения этих препаратов для обработки семян люпина узколистного сохранялся и в условиях более жесткого последействия ларена, что свидетельствует о перспективности этого агроприема.

В среднем за 2007–2008 гг. урожайность зерна люпина узколистного при традиционной технологии возделывания составила на фоне предшествующего применения диалена супер 22,9 ц/га, а на фоне предшествующего использования ларена – 20,1 ц/га, т. е. на 2,8 ц/га (12,2%) меньше. Предпосевная обработка семян фитовиталом и сапронитом обеспечила в блоке опыта, где на предшественнике использовали ларен, прибавку урожайности зерна в среднем 4,3 и 4,7 ц/га (21,4 и 23,4%), увеличив ее до 24,4 и 24,8 ц/га соответственно. Этот показатель на указанных выше вариантах превышал на 1,5–1,9 ц/га (6,5–8,3%) уровень, полученный без использования этих препаратов на фоне предшествующего применения диалена супер. Следовательно, за счет обработки семян люпина узколистного фитовиталом или сапронитом негативное последействие сульфонилмочевинного гербицида ларен в сложившихся условиях удалось полностью устранить. Пригодным для этой цели оказались также препараты эпин и энеробактер, однако их эффективность при решении этой проблемы была несколько ниже, чем у фитовитала и сапронита.

Результаты наших исследований показали, что уровень отрицательного последействия наиболее персистентных производных сульфонилмочевины на люпин узколистный зависел не только от погодных условий, складывающихся в течение вегетационного периода в год применения этих препаратов, и используемых для предпосевной обработки семян физиологически активных веществ. На характер проявления этой закономерности определенное влияние оказывали и некоторые особенности технологии возделывания люпина узколистного. Так, при его выращивании без использования гербицидов недобор урожая зерна от последействия применяемого на предшествующем ячмене сульфонилмочевинного препарата ковбой составило в условиях 2008 г. 3,8 ц/га. На варианте, где для борьбы с сорняками в фазу 3–5 листьев люпина узколистного применяли гербицид голтикс, этот показатель увеличивался и был равен 4,7 ц/га (таблица 2), что свидетельствует о некотором усилении отрицательного последействия на фоне применения гербицидов.

Таблица 2 – Влияние последействия гербицидов на урожайность люпина узколистного

Гербицид на люпине узколистном	Гербицид на предшествующем ячмене			
	агритокс, 1,2 л/га	ковбой, 150 г/га	снижение от последействия	
			ц/га	%
без гербицидов	15,2	11,4	3,8	33
голтикс, 3,0 л/га	27,2	22,5	4,7	21
НСР ₀₅	3,4			



В период проведения исследований при выращивании люпина узколистного без использования гербицидов количество сорняков в его посевах составило в среднем 226 шт./м², а их сырая масса – 808,3 г/м² (таблица 3). При таком высоком уровне засоренности посевов урожайность зерна и зеленой массы люпина узколистного была равна соответственно 12,2 и 203,1 ц/га.

Применение гербицидов способствовало снижению засоренности люпина узколистного, однако их противосорняковый эффект был неодинаковым. Наименьшую гибель сорных растений в наших исследованиях обеспечило довсходовое применение харнеса (3,0 л/га) и гезагарда (4,0 кг/га). Количество сорняков на этих вариантах уменьшилось в среднем на 59–61, а их сырая масса – на 59–62%. Это обеспечило на указанных выше вариантах урожайность зерна люпина узколистного в среднем 25,5–25,8 ц/га, что на 13,3–13,6 центнеров больше, чем на контроле. Прибавка урожайности зеленой массы люпина узколистного в этом случае находилась в пределах 99–105 ц/га.

Применение до всходов культуры гербицида зенкор (0,5 кг/га) уменьшило засоренность посевов на 65% и обеспечило урожайность зерна 27,6 ц/га, что на 1,8–2,1 ц/га больше, чем при использовании гезагарда и харнеса. Урожайность зеленой массы люпина узколистного на этих вариантах была примерно одинаковой и находилась в пределах 302–311 ц/га.

Таблица 3 – Влияние гербицидов на засоренность и урожайность люпина узколистного сорта Ашчадны

Вариант	Норма препарата, кг (л)/га	Количество сорняков, шт./м ²	Сырая масса сорняков, г/м ²	Урожайность, ц/га	
				зерна	зеленой массы
без гербицидов	–	226	808,3	12,2	203,1
гезагард, 50% с.п.	4,0	88	305,7	25,5	308,2
зенкор, 70% с.п.	0,5	77	280,1	27,6	311,3
примэкстра голд, 720 г/л к.с.	2,0	65	201,4	29,9	402,4
дуал голд, 96% к.э.	1,5	56	186,2	30,8	415,2
харнес, 90% к.э.	3,0	92	328,8	25,8	302,0
гезагард, 50% с.п. + зенкор, 70% с.п.	2,0 + 0,5	48	123,7	33,3	429,9
гезагард, 50% с.п. + примэкстра голд, 720 г/л к.с. + зенкор, 70% с.п.	1,4 + 1,4 + 0,35	62	195,6	28,9	407,1
пивот, 10% в.к.*	0,75	53	162,4	29,3	377,8
НСР ₀₅				2,2–2,3	31,1–44,9

Примечание – * – послевсходовое внесение гербицидов

Гербициды примэкстра голд (2,0 л/га) и дуал голд (1,5 л/га) при довсходовом внесении уменьшили количество сорняков в посевах люпина узколистного соответственно на 71 и 75%, а их сырую массу – на 75 и 77%. Урожайность зерна этой культуры на указанных выше вариантах составила в среднем 29,9 и 30,8 ц/га, что на 2,3 и 3,2 ц/га больше по сравнению с применением зенкора. Урожайность зеленой массы люпина узколистного на вариантах с использованием гербицидов примэкстра голд и дуал голд



находилась в пределах 402,4–415,2 ц/га, т. е. была в 1,3 раза больше по сравнению с применением зенкора.

Наименьшую засоренность посевов люпина в опыте обеспечило использование до появления всходов этой культуры смеси гербицидов гезагард (2,0 кг/га) и зенкор (0,5 кг/га). Количество сорняков в этом случае уменьшилось на 79, а сырая масса – на 85%, что обеспечило максимальную урожайность зерна – 33,3 ц/га. Наибольшей на этом варианте была и урожайность зеленой массы – 429,9 ц/га. Использование трехкомпонентной смеси гербицидов почвенного действия, в состав которой входили гезагард (1,4 кг/га), примэкстра голд (1,4 л/га) и зенкор (0,35 кг/га), оказалось менее эффективным. Урожайность зерна и зеленой массы люпина узколистного составила в этом случае соответственно 28,9 и 407,1 ц/га.

Дискуссионным вопросом в настоящее время является целесообразность послевсходового применения в посевах люпина узколистного гербицида пивот. Его рекомендовалось вносить в норме 0,5 г/га не позднее фазы образования у люпина 3–5 настоящих листьев, применяя этот препарат с особой точностью, т. к. передозировка или неправильно выбранные сроки обработки могут привести к сильному угнетению культуры и даже ее полной гибели [5]. О негативном влиянии гербицида пивот на многие сорта люпина узколистного отечественной селекции свидетельствуют результаты исследований, проведенных в различных регионах Беларуси. Этот препарат вызывал либо уничтожение зерновой продуктивности растений люпина, либо полную гибель посевов [6]. В наших исследованиях послевсходовое применение пивота (0,75 л/га) обеспечило урожайность зерна люпина узколистного сорта Ашчадны в среднем 29,3 ц/га, что несколько ниже по сравнению с вариантами, где использовали гербициды почвенного действия гезагард + зенкор, дуал голд, примэкстра голд. Такая же закономерность отмечалась и по продуктивности зеленой массы этой культуры.

В наших исследованиях произрастающие в посевах люпина узколистного виды сорных растений существенно различались по чувствительности к используемым гербицидам. Установлено, что наименее узкий спектр действия был отмечен у гербицидов харнес и дуал голд, а наиболее широкий – у зенкора и пивота. Гербицид гезагард в этом отношении занимал промежуточное положение (таблица 4).

Таблица 4 – Чувствительность отдельных видов сорняков, произрастающих в посевах люпина узколистного, к применяемым гербицидам

Виды сорняков	Гезагард	Пивот	Зенкор	Примэкстра голд	Дуал голд	Харнес
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Малолетние сорняки						
Василек синий	ч	ч	ч	ч	сч	у
Галинзога мелкоцветковая	ч	ч	ч	ч	о	у
Горец почечуйный	о	сч	ч	сч	ч	у
Горчица полевая	ч	ч	ч	ч	сч	у
Горец вьюнковый	ч	ч	ч	ч	о	у
Звездчатка средняя	ч	ч	ч	ч	ч	сч
Марь белая	ч	ч	ч	ч	сч	сч
Пастушья сумка	ч	ч	ч	ч	ч	сч



Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
Пикульник обыкновенный	ч	ч	ч	ч	сч	у
Просо куриное	сч	ч	ч	ч	ч	у
Редька дикая	ч	ч	ч	ч	сч	сч
Ромашка непахучая	ч	ч	ч	ч	сч	сч
Росичка обыкновенная	о	о	о	ч	ч	о
Щетинник сизый	ч	ч	ч	ч	ч	у
Щирица запрокинутая	сч	ч	ч	ч	у	у
Ярутка полевая	ч	ч	ч	ч	сч	сч
Многолетние сорняки						
Бодяк полевой	у	ч	у	у	у	ч
Вьюнок полевой	сч	ч	сч	сч	сч	ч
Метлица обыкновенная	у	ч	у	у	у	сч
Осот полевой	у	ч	у	у	у	ч
Плевел многолетний	у	о	у	у	у	сч
Полевица обыкновенная	у	о	у	у	у	сч
Полынь обыкновенная	у	ч	у	у	у	ч
Пырей ползучий	у	ч	у	у	у	ч
Щавелек малый	у	ч	у	у	сч	ч
Хвощ полевой	у	сч	у	у	у	ч

Примечание – Ч – чувствительные; СЧ – средне чувствительные; У – устойчивые; О – данные по чувствительности сорняков к гербицидам отсутствуют

Известно, что степень фитотоксичности гербицидов к сорным и культурным растениям может варьировать в зависимости от условий выращивания, прежде всего, от количества и соотношения элементов питания в почве, содержания в ней влаги, температуры воздуха в период проведения химической прополки и т. д. [7]. Это свидетельствует о целесообразности уточнения спектра действия гербицидов и чувствительности к ним отдельных видов сорняков с учетом региональных почвенно-климатических условий и особенностей технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Знание установленных закономерностей по чувствительности сорных растений к изучаемым гербицидам позволит более целенаправленно и результативно проводить химическую защиту посевов узколистного люпина против сорняков в условиях Брестской области.

В последние годы в ряде районов республики значительное распространение в посевах люпина и других зернобобовых культур получили малолетние злаковые сорняки – просо куриное, виды щетинника и т. д. Для уничтожения их в период вегетации можно с успехом использовать такие гербициды, как фюзилад супер, фюзилад форте, тарга, зеллек и т. д. [8].

Кроме того, в наших исследованиях изучалась возможность применения на посевах люпина узколистного в борьбе с указанными выше сорняками отечественного аналога, используемого на зерновых культурах, противозлакового гербицида грасп. Его применяли по всходам люпина в фазу 3–5 листьев злаковых сорняков в норме 0,16–0,24 кг/га д.в. на фоне довсходового использования гербицида примэкстра голд. Засоренность посевов просом куриным в годы исследований находилась на невысоком



уровне. Испытуемый отечественный аналог гербицида грасп снижал количество и сырую массу проса куриного в посевах и не оказывал угнетающего действия на растения люпина узколистного. Даже при невысоком уровне засоренности этим сорняком при использовании указанного выше гербицида отмечалась тенденция к увеличению урожайности зерна люпина (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние отечественного аналога гербицида грасп на засоренность и урожайность люпина узколистного сорта Прывабны

Вариант	2006 год			2007 год		
	Просо куриное		Урожай зерна, ц/га	Просо куриное		Урожай зерна, ц/га
	шт./м ²	г/м ²		шт./м ²	г/м ²	
Контроль	6	16,8	23,1	4	3,8	11,2
Грасп (отечественный аналог), 0,16 кг/га д.в.	4	7,5	23,7	1	0,4	12,3
Грасп (отечественный аналог), 0,24 кг/га д.в.	–	–	–	1	0,3	12,5
НСР ₀₅			1,3			1,8

Полученные результаты дают основание считать, что в перспективе возможно использование отечественного аналога гербицида грасп на посевах люпина узколистного для борьбы с малолетними злаковыми сорняками. Это позволит уменьшить потребность республики в импортных граминицидах и даст возможность сократить затраты валюты на их приобретение за рубежом.

Расчеты основных показателей экономической эффективности возделывания люпина узколистного в опытах показали, что в среднем за 2007–2008 гг. при выращивании этой культуры по традиционной технологии чистый доход и рентабельность уменьшились под влиянием последствия ларена соответственно на 86,84 долл./га и 15,8%, а себестоимость одного центнера зерна увеличилась на 3,1 долл./ц (таблица 6).

Затраты на проведение предпосевной обработки семян люпина узколистного физиологически активными веществами, рассчитанные по существующим в настоящее время ценам, находятся в пределах 1,86–2,80 долл./га в зависимости от используемого препарата. Экономический эффект от их применения, рассчитанный по увеличению чистого дохода, составил на фоне предшествующего применения диалена супер 44,25–81,51 долл./га, а на фоне предшествующего использования ларена – 78,77–143,51 долл./га.

Таблица 6 – Экономическая эффективность предпосевной обработки семян люпина узколистного физиологически активными веществами и микробиологическими препаратами (в среднем за 2007–2008 г.г.)

Вариант	Валовой доход, долл./га	Производственные затраты, долл./га	Чистый доход, долл./га	Рентабельность, %	Себестоимость, долл./ц
1	2	3	4	5	6
Предшествующее внесение диалена супер (0,6 л/га)					
протравливание семян винцит форте, 1,25 л/т – фон	745,62	543,53	202,09	37,2	23,73



Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
фон + фитовитал, 1,2 л/т	820,51	549,80	270,71	49,2	21,82
фон + эпин, 40 г/т	794,46	547,65	246,81	45,1	22,44
фон + сапронит, 0,2 л/га	833,54	549,94	283,60	51,6	21,48
фон + энэробактер, 0,2 л/га	794,46	548,12	246,34	44,9	22,46
Предшествующее внесение ларена (10 г/га)					
протравливание семян вин- цит форте, 1,25 л/т – фон	654,56	539,31	115,25	21,4	26,83
фон + фитовитал, 1,2 л/т	794,46	548,59	245,87	44,8	22,48
фон + эпин, 40 г/т	739,11	545,09	194,02	35,6	24,01
фон + сапронит, 0,2 л/га	807,49	548,73	258,76	47,2	22,13
фон + энэробактер, 0,2 л/га	761,90	546,61	215,29	39,4	23,36

Примечание – Стоимость зерна кормового люпина 325,58 долл./т (цены по состоянию на 1.10.2008.)

Анализ полученных результатов свидетельствует, что при использовании для предпосевной обработки семян лишь эпина не удалось полностью компенсировать с экономической точки зрения отрицательное последствие на люпин узколистный гербицида ларен. Наиболее целесообразным для решения этого вопроса оказалось применения сапронита и фитовитала.

Выводы

На основании представленных выше данных можно заключить следующее:

1. Уровень отрицательного последствия сульфонилмочевинного гербицида ларен на урожайность последующего люпина узколистного в год применения этого препарата зависел от погодных условий, которые в значительной степени определяют интенсивность микробиологических процессов в почве и степень деградации находящихся в ней остатков пестицидов. Наибольшее отрицательное последствие ларена отмечалось в год, которому предшествовал вегетационный период, характеризующийся повышенной температурой воздуха и дефицитом атмосферных осадков. Если в год внесения ларена в период вегетации растений имела место достаточно влажная и теплая погода, то последствие этого гербицида на последующий люпин узколистный снижалось.

2. Предпосевная обработка семян люпина узколистного препаратами фитовитал и сапронит позволила в сложившихся в период исследований погодных условиях полностью устранить негативное последствие гербицида ларен на эту культуру.

3. При довсходовом использовании гербицидов наивысшая урожайность зерна и зеленой массы люпина узколистного получена при внесении зенкора (0,5 кг/га), примэкстра голд (2,0 л/га) и дуал голд (1,5 л/га). Засоренность посевов при этом изменилась соответственно на 65,7 и 75,2%.

4. Для борьбы с малолетними злаковыми сорняками возможно использование отечественного аналога гербицида грасп при норме 0,16–0,24 кг/га д.в. Это позволит уменьшить потребность в граминицидах и даст возможность сократить затраты валюты на их приобретение за рубежом.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крейди, М. Гербициды класса производных сульфонилмочевин компании Дюпонт в защите растений / М. Крейди, О. Александров // Агриматко. – 2001. – № 2. – С. 13–15.
2. Спиридонов, Ю.Я. К вопросу об остаточном действии сульфонилмочевинных гербицидов в России / Ю.Я. Спиридонов, В.Г. Шестаков, Г.Е. Ларина // Научно-обоснованные системы применения гербицидов для борьбы с сорняками в практике растениеводства : материалы третьего междунар. науч.-произв. совещ., Голицино, 20–22 июля 2005 г. / ВНИИФ. – Голицино : РАСХН-ВНИИФ, 2005. – С. 521–541.
3. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур : сб. отрасл. регламентов / рук. разработ. В.Г.Гусаков [и др.]. – Минск : Бел. наука, 2005. – 460 с.
4. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М, 1986. – 416 с.
5. Баздырев, Г.И. Сорные растения и борьба с ними / Г.И. Баздырев, Б.А. Смирнов. – М, 1986. – 188 с.
6. Лукьянюк, Н.А. Зависимость урожайности озимой пшеницы от последействия гербицида пивот и применяемых на его фоне производных сульфонилмочевины / Н.А. Лукьянюк, С.Н. Гайтюкевич, Л.А. Булавин // Земледелие и селекция Беларуси : сб. науч. тр. НАН Беларуси, Ин-т земледелия и селекции. – Минск, 2006. – Вып. 42. – С. 59–65.
7. Гулидов, А.М. О последействии гербицидов / А.М. Гулидов // Защита и карантин растений. – 2003. – №2. – С. 25–26.
8. Шик, А.С. Эффективность применения гербицидов и их смесей на посевах желтого и узколистного люпина / А.С. Шик // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. – 2005. – №1(22). – С. 87–92.

A.S. Shyk. Incrustation of Seeds Physiologically Active Substances as the Way of Decrease Aftereffect Herbicide Laren on Lupinus Angustifolius

The results of researche on studying aftereffect influence on lupinus angustifolius herbicides laren and the cowboy, applied on summer grain crops are presented. It is established, that preseedling processing of seeds by preparations fitovital and sapronit allows eliminating negative influence of previous application herbicide laren on productivity lupinus angustifolius.



УДК 911.3

С.В. Артёменко

ПОГРАНИЧЬЕ КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ

Рассматриваются особенности приграничных территорий, их черты, обусловленные фактором приграничности. Актуализируются вопросы определения, выделения приграничных территорий с точки зрения важности их научного и практического значения. Дается анализ содержания понятия «пограничная территория» («пограничье»). Отмечается необходимость комплексного исследования пограничных территорий-зон (регионов) и границ-линий. Указываются подходы к выделению пограничного пространства, его границ. Определяются уровни масштабности пограничных территорий как системных образований: локальный, региональный, национальный. Дается характеристика пограничья как особой социально-экономической системы, которая является важным объектом социально-экономикогеографических исследований. Выделяются актуальные направления в изучении пограничья социально-экономической географией. Отмечается факт недостаточного внимания к изучению пограничных регионов как специфических территориальных социально-экономических систем, формирование и развитие которых происходит в особых политико-географических и геополитических условиях.

Конец XX – начало XXI века ознаменовались весьма существенными изменениями на политической карте, главными из которых явились распады федеративных государств имперского типа (СССР, СФРЮ), возникновение ряда новых суверенных государств, а соответственно и больших по протяженности границ.

Как следствие, границы и связанные с ними приграничные пространства все чаще оказываются в поле зрения исследователей, в том числе в области географической науки. Особый интерес представляют «новые» границы в Европе, возникшие после распада Советского Союза, Югославии, Чехословакии, поскольку разделенным оказалось бывшее единым экономическое, социальное, политическое, культурное пространство. Вместе с тем проблемным является и переосмысление специфики «старых» границ и особенно пограничного пространства, сложившегося давно так называемого «традиционно пограничного» пространства, – его географических параметров, проницаемости, социально-экономического содержания.

Радикальные реформы, трансформация экономик стран бывшего социалистического лагеря и постсоветских государств повлекли за собой изменение и расширение их внешнеэкономических связей, стимулировали более активное участие этих государств в международных интеграционных процессах. При этом существенно выросла роль приграничных районов в осуществлении разнообразных контактов между странами, в них стали проявляться новые факторы и предпосылки регионального развития [1]. В условиях глобализации экономики возрастает значение регионального аспекта организации и управления обществом. В последнее время в экономическом развитии также повышается роль внешних факторов, в том числе приграничности, ведь именно приграничные территории имеют значительное преимущество в возможностях собственного развития.

В тоже время пограничье более проблемно для государства, чем обширные внутренние пространства. При системном подходе с позиций национальной безопасности приграничье является средоточием всех ее структурных компонентов, которые на этих территориях наиболее ярко проявляются: военных и социально-политических, экономических и экологических, информационных [2].



Приграничные территории в наиболее полном виде концентрируют и многие социально-экономические, политические, экологические проблемы взаимоотношений между государствами [1].

Приграничные регионы занимают двойственное положение в экономическом пространстве государства, будучи одновременно и центром связей, и периферией своего государства. Являясь периферией страны, они становятся центром региона, жизнь которого определяется задаваемыми границей условиями. В определенном смысле можно говорить даже о региональной экономической однородности приграничья в противоположность внутргосударственной экономической гетерогенности.

Приграничность приобретает всё большее значение и выступает в качестве нового территориального социально-экономического фактора развития.

Исследование приграничного пространства носит междисциплинарный характер и привлекает внимание специалистов в области экономической, социальной и политической географии, а также этнографии, демографии, истории. В ряде случаев требуется обращение к лингвогеографии, топонимике, этнопсихологии [3].

В научной географической литературе стали все шире использоваться понятия «трансграничная территория» и «приграничная территория». В данные понятия разными специалистами вкладывается далеко не одинаковое содержание, что связано с нечетким определением границ, свойств, функций и типов таких территорий [1].

Под приграничьем (пограничным пространством) понимают:

- районы вдоль границы, характеризующиеся общими экономическими и социальными проблемами [4, с. 63–72];
- социально-географическую зону вдоль границы или вокруг пункта в глубине территории страны, в пределах которой наблюдаются пограничные процессы и явления, связанные с интересами соседних стран и взаимодействием между их экономическими, культурными, правовыми и политическими системами [5, с. 77–83];
- территорию, непосредственно прилегающую к государственной границе, в пределах которой реализуются политические, инфраструктурные, экономические, социально-культурные и некоторые административные функции взаимодействия соседних стран. Здесь в наибольшей степени проявляется влияние соседнего государства, его экономики и политики на все сферы жизнедеятельности населения [1, с. 28];
- природно-хозяйственный или административный район, прилегающий к государственной границе, природным основанием которой является геосистема регионального уровня [1, с. 27].

При различии трактовок во всех их вариантах отмечается, что главным фактором, обуславливающим специфику приграничья, является его географическое положение. Поэтому приграничные территории – это территории государства, прилегающие к государственной границе, выполняющие особые приграничные функции и обладающие в связи с этим специфическими особенностями. При этом отмечается, что в пределах приграничной территории, как правило, значительным является социально-экономическое и экологическое влияние соседнего государства [1, с. 28].

Географический контур пограничного пространства представляет собой, прежде всего, полосу местности, пролегающую вдоль линии границы по обе ее стороны. На континентальной части периметра страны географическая плоскость пограничных территорий предопределяется социально-экономической ситуацией в каждом конкретном регионе, через который проходит граница. Иными словами, пограничные про-



странства в географической плоскости как бы имеют некую «тень», территориальную конфигурацию, в пределах которой этот феномен существует как явление.

Вопросы определения и выделения пограничных территорий имеют как научное, так и практическое значение, поскольку с ними связаны определенные экономические и геополитические действия государств и их регионов. Для таких территорий определяются специальные приоритеты и ограничения в социально-экономической и экологической политике [1].

Данное понятие становится основным для официальных законодательных документов. Так, согласно Концепции приграничного сотрудничества в Российской Федерации, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 февраля 2001 года № 196-р, «приграничная территория Российской Федерации включает в себя пограничную зону, российскую часть вод пограничных рек, озер и иных водоемов, внутренних морских вод и территориального моря, где установлены пограничный режим, пункты пропуска через государственную границу РФ, а также территории административных районов и городов, санаторно-курортных зон, особо охраняемых природных территорий, объектов и других территорий, прилегающих к государственной границе РФ, пограничной зоне, берегам пограничных рек, озер и иных водоемов, побережью моря или пунктам пропуска».

Согласно решению Совета глав правительств при Межгосударственном совете Республики Беларусь, Республики Казахстан, Кыргызской Республики и Российской Федерации от 26 февраля 1999 года № 48 «О соглашении об основных принципах приграничного сотрудничества между государствами-участниками Договора об углублении интеграции в экономической и гуманитарной областях от 29 марта 1996 года» определено понятие «приграничный регион». «Приграничный регион – это регион в пределах административных или иных государственных территориальных образований, административно-территориальные границы которого совпадают с линией государственной границы государств – участников настоящего Соглашения».

Приведенные утверждения и дефиниции достаточно рациональны и верны. Однако они не определяют точно, что можно считать пограничным пространством. Не конкретными являются понятия «район» и «зона», прилегающие (идушие вдоль) границы. И если содержательная сторона данных понятий выражается через функции, природные и социально-экономические характеристики данных географических структур, то неопределенными остаются их географические параметры (отношения): глубина, конфигурация и др.

В качестве объекта географического исследования традиционно рассматривается и граница-линия, и приграничное пространство-полоса по обе стороны от нее. Исследуя государственную границу, нельзя не рассматривать приграничные территории, т. к. практически не существуют ни границы без района, ни район без границ.

Следует отметить, что в настоящее время одним из нерешенных теоретических вопросов в изучении приграничных территорий является отсутствие общепризнанных методик выделения самих границ. Принципиальным условием адекватности их выделения является учет фактора многомерности рубежей, разделяющих политические, экономические, социокультурные и другие системы соседних государств. Такие рубежи далеко не всегда совпадают друг с другом и с линиями прохождения государственных границ. Преобладающая их часть, как правило, проходит именно в пограничном пространстве, однако некоторые рубежи (менталитет, психологические барьеры и т. п.) не поддаются четкой пространственной локализации. Сама приграничная зона может



рассматриваться как феномен (или система), имеющий самостоятельное по отношению к сопредельным государствам значение. Тогда «пограничье» понимается как совокупность соотносимых с государственной границей пространственных, временных и прочих рубежей, разделяющих те социальные (политические, экономические, этнокультурные и др.) системы сопредельных государств, которые имеют общенациональное значение.

Однако в географии речь идет все же о пространственных границах. Границы могут выполнять разные функции (разделительную, геополитическую, экономическую, социальную, информационную), но важнейшие – это контактные функции, которых трудно избежать даже в случае границы-фронтала [6].

Как исторические, так и географические границы представляют собой модель или схему и в значительной степени условны, как любая модель или схема. Географические границы (переходные пространства) – лишь способ структуризации знания о пространстве. Их выбор обусловлен во многом задачами исследования и уровнем выделенного пространства, что достаточно субъективно. В широком смысле при определенных условиях практически любой участок территории можно считать границей, переходом, рубежом, сменой состояний. Проводя границы, можно лишь в той или иной степени стремиться к объективности.

Между тем межгосударственная граница оказывает влияние на конфигурацию, структуру и состав этого пространства. Приграничная полоса формально проведенных государственных границ, как правило, с обеих сторон имеет сходную ситуацию: смешанное население, однотипную экологическую культуру и культурные ландшафты, сходную планировку селений, образ жизни, язык, менталитет. Региональная самоидентификация населения носит двойственный характер либо четко не выражена.

Приграничное пространство обладает сформированным социально-экономическим содержанием. При выделении приграничных территорий, ее пространственной конфигурации и функций значительную роль играет характер и направленность внешнеэкономических связей региона, «особенности экономической деятельности предприятий, занятость населения, например, по выполнению транспортно-транзитных операций, по обслуживанию туристических потоков, добыче и переработке природных ресурсов и т. д.» [1, с. 30].

Очевидным является то, что к выделению (определению) пограничного пространства необходимо подходить с четко обозначенными целями, соответствующими им критериями и характеристиками. Выделение приграничной территории и определение ее границ должно удовлетворять трем основным условиям: совпадению одной из ее границ с государственной, принадлежностью территории к определенной социально-экономической системе (региону), наличию значительной социально-экономической и экологической связи с сопредельной территорией соседнего государства.

Для решения этой научной проблемы возможно использование подходов, основанных на детальном природно-хозяйственном районировании, использование комплексного подхода для всесторонней характеристики приграничных территорий и их типов, построения их географической иерархии. Тогда, по мнению П.Я. Бакланова, можно «определить приграничную территорию как определенную территорию, которая является частью геосистемы региональной размерности, разделенной государственной границей и одновременно – природно-хозяйственным районом, политическая, экономическая, социальная, культурная и экологическая ситуация в пределах которого в суще-



ственной мере зависит от развития прилегающей территории соседнего государства и, в свою очередь, оказывает влияние на нее» [1, с. 30–31].

Пограничная территория, являясь объектом конкретной (специфической) деятельности, характеризуется географическим положением, протяженностью (площадью) как специфическим видом «пространственного» ресурса, шириной (глубиной), насыщенностью (освоенностью) и другими параметрами. При этом метрические постраничные отношения как характеристики этих географических объектов ещё недостаточно разработаны. Качественные же показатели (свойства) имеют различные трактовки. Например, насыщенность (плотность или интенсивность протекающих в пограничном пространстве процессов) понимается как «средняя линия между границами «частных», «отраслевых» приграничных пространств – экономического, культурного, политического, военного и т. д., появляющихся как следствие соответствующих взаимодействий» [7, с. 112]. Кроме позиционных характеристик, пограничные территории имеют и характерные функциональные черты.

Особое значение имеют ландшафтная и коммуникационная характеристики приграничной зоны: наряду с протяженностью эти параметры оказывают наиболее длительное воздействие на характер трансграничных отношений.

Отмеченные особенности пограничья выражаются через его функции, прежде всего – контактную и барьерную. Эти функции определяют характер миксации всех социально-экономических процессов, идущих в пределах таких территорий. В связи с вышесказанным, практическое значение приобретает разработка методических основ оценки значимости приграничных территорий, которая определяется их геополитической значимостью и социально-экономическим потенциалом.

Приграничные территории по обе стороны от государственной границы концентрируют в себе результаты взаимодействия и взаимовлияния в различных сферах: в природно-ресурсной, социально-экономической и экологической [8; 9]. Это позволяет рассматривать приграничную территорию как территорию со свойствами реального или потенциального взаимодействия и взаимовлияния соседних государств. Такие свойства проявляются на разных территориальных уровнях.

Приграничная территория, имея административные, экономические и инфраструктурные границы, может рассматриваться как трехуровневая. Наиболее определенными и строгими, в отличие от инфраструктурных и экономических, являются административные границы. Поэтому сами приграничные территории могут выделяться на трех уровнях – локальном, региональном и национальном [1]. Локальный уровень представляют приграничные территории, в пределах которых сконцентрирована приграничная инфраструктура. Здесь находятся населенные пункты, непосредственно выходящие на государственную границу. Они входят в пограничную зону. Мировая практика допускает размеры пограничной зоны до 15 километров. На микроуровне приграничья сосредоточены пограничные пункты пропуска. Здесь реализуются начальные стадии взаимодействия соседних государств.

На региональном уровне приграничными обычно определяются административные территории, часть границ которых совпадает с государственной. Это административные единицы в составе основных административных регионов, часть внешних границ которых совпадает с государственной границей, а также предприятия и организации, дислоцирующиеся в пределах данных районов.

На национальном уровне в качестве приграничных могут рассматриваться «обширные группы смежных административных регионов, выходящих непосредственно



к государственной границе и играющих заметную роль в осуществлении контактных функций с соседними государствами» [1, с. 28], что может иметь и вид «пограничного пояса» у государств, большинство основных административных единиц которого примыкает к границе. На первый план здесь выходит общность экономико-географического и геополитического положения.

Приграничное сотрудничество на данном уровне проявляется в форме заключенных межрайонных соглашений о взаимодействии, развитии производственно-хозяйственных связей, приграничной торговли, проведении совместных гуманитарных мероприятий.

Таким образом, в географических исследованиях пограничья могут применяться различные масштабы территорий, имеющих выход к государственной границе – от отдельных населенных пунктов до административных единиц высшего порядка (районы, области и т. п.). Различными, в зависимости от конкретных исследовательских задач, могут быть и временные рамки исследований.

Пограничье – объект междисциплинарного исследования, однако основой междисциплинарной методологии его изучения должны быть геопространственная парадигма и системный подход. Целостность пространства состоит в наличии устойчивых взаимосвязей полей друг с другом и с окружающей средой. В пограничье такие взаимосвязи формируются и проявляются в историческом процессе формирования пограничья и его функционирования как системы. После возникновения линии государственной границы на прилегающих к ней территориях возникают особые (специальные) объекты, деятельность которых определяет или связана с функциями пограничья; коренное или пришлое население приобретает особые черты и характеристики (ментальность, миграционная активность и др.); социально-экономическое развитие подчиняется условиям режима приграничности и использует его потенциальные возможности (развитие особых видов деятельности, ограничения во взаимодействии и т. п.). В этом смысле как особый объект пограничье участвует в формировании уникального географического ландшафта [10] и специфической социо-культурной системы [11].

Таким образом, пограничье может рассматриваться и как особая социально-экономическая система, и как часть подобной системы более высокого порядка. Созданное границей приграничное пространство является социально-географическим, рассматриваемым как «многомерная, многообразная и неоднородная система» [12, с. 97].

Одной из отличительных черт приграничных территорий является не только высокая степень мозаичности объектов, процессов и явлений, но и значительное перекрытие зон их взаимодействия. Таким образом, приграничное пространство находится в центре сложного переплетения связей и взаимовлияний, усиливающих его неоднородность. Притом, что пограничье находится под влиянием организующего центра страны, граница продуцирует собственные влияния, преломляющиеся через систему отношений с центром своего государства, с приграничными районами своей страны, соседних стран. Пограничье – системное образование со сложно выявляемыми причинно-следственными связями между явлениями. Любой географический объект сложен, его трудно смоделировать. Моделирование приграничья осложнено разнообразием и множественностью связей. На традиционную для любого географического объекта систему отношений здесь накладывается влияние государственной границы.

Пограничье как географический объект имеет и внутренние нематериальные взаимосвязи, материальное воздействие на свое окружение. Это позволяет использо-



вать при его изучении различные подходы, исследовательские методики и методологические установки [3].

Следует отметить, что практика изучения приграничного пространства не слишком богата примерами конкретных исследований. Опыт исследования приграничных территорий связан главным образом со следующими направлениями в изучении приграничья социально-экономической географией:

- формирование зон приграничного сотрудничества (зоны приграничной торговли, СЭЗ);
- транспортная контактность пограничных территорий (транспортные переходы и терминалы);
- этнополитические конфликты и специфическая приграничная преступность.

Очевидным является факт недостаточного внимания исследователей к изучению особенностей пограничных регионов как специфических территориальных социально-экономических систем, формирование и развитие которых происходит в особых политико-географических и геополитических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакланов, П.Я. Приграничные и трансграничные территории как объект географических исследований / П.Я. Бакланов, С. С. Ганзей // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2004. – № 4. – С. 27–34.
2. Артёменко, С.В. Проблема географического изучения приграничных территориальных социально-экономических систем / С.В. Артёменко // Вуч. запіскі Брэсц. дзярж. ун-та імя А.С. Пушкіна : зб. навук. прац : у 2 т. – 2005. – Т. 1., ч 2. – С. 150–158.
3. Попкова, Л.И. Приграничное пространство как особый тип территории (на примере российско-украинского приграничья) / Л.И. Попкова // Изв. РГО. – Т. 137., вып. 1. – 2005. – С. 83–89.
4. Социально-экономические проблемы нового российского пограничья / В.А. Колосов [и др.] // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1997. – № 3. – С. 88–96.
5. Кудияров, В.А. Пограничные пространства России / В.А. Кудияров // Границы России. – 1996. – № 2. – С. 32–39.
6. Туровский, Р.Ф. Культурная география: Теоретические основания и пути развития / Р.Ф. Туровский / Культурная география. – М. : Ин-т наследия, 2001. – С. 10–94.
7. Колосов, В.А. Современные государственные границы: новые функции в условиях интеграции и приграничное сотрудничество / В.А. Колосов, Р.Ф. Туровский // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1997. – № 5. – С. 106–113.
8. Бакланов, П.Я. Устойчивое развитие приграничных районов России и проблемы природопользования / П.Я. Бакланов // Географические аспекты проблемы перехода к устойчивому развитию стран СНГ. Киев; Москва: Объед. Научн. Совет по фонд. геогр. пробл. РАН. – 1999. – С. 77–92.
9. Бакланов, П.Я. Географические контактные структуры и их функции в северо-восточной Азии / П.Я. Бакланов // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2000. – № 1. – С. 31–39.
10. Алаев, Э.Б. Социально-экономическая география: Понятийно-терминологический словарь / Э.Б. Алаев. – М. : Мысль, 1983. – 350 с.
11. Колосов, В.А. Геополитика и политическая география / В.А. Колосов, Н.С. Мироненко. – М. : Аспект Пресс, 2002. – 479 с.



12. Машбиц, Я.Г. Комплексное страноведение / Я.Г. Машбиц. – Смоленск : Изд-во СГУ, 1998. – 235 с.

13. Герасименко, Т.И. Трансграничные этнокультурные регионы: методологические подходы к изучению / Т.И. Герасименко // Изв. РГО. – Т. 137., вып. 1. – 2005. – С. 73–83.

S.V. Artiomienko. Frontier As An Object Of Investigation Of The Social And Economic Geography

The article describes peculiarities of frontier territories and their features, stipulated by frontier factor. The problems of definition and classification of frontier territories from the point of view of their scientific and practical importance are actualized. The analysis of the concept content of “frontier territory” (“frontier”) is given. The article emphasizes the necessity of integrated study of border territory zones (regions) and border lines; specifies the approaches to defining border area, its borders. It also defines scale levels of frontier territories as system formations: local, regional, national. It describes the frontier as a special social and economic system, which is a significant exploration target of social and economic geography. The article specifies topical trends of frontier study in social and economic geography. It emphasizes the fact of insufficient attention to studying the frontier regions as peculiar territorial social and economic systems, emerging and developing in special political and geographical and geopolitical conditions.



УДК 551.5(476)

А.А. Волчек, И.Н. Шпока, Н.Н. Шешко

ПОВТОРЯЕМОСТЬ МЕТЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

В работе рассмотрено изменение числа дней с метелями на территории Беларуси и особенности их формирования за период с 1975 по 2008 гг. Метели имеют большую пространственную и временную изменчивость. Пространственная изменчивость характеристики метелей Беларуси оценивалась с помощью картографирования этих характеристик. Стандартные статистические методы позволили установить временные закономерности в формировании метелей.

Введение

Метелью называется перенос снега над поверхностью земли ветром достаточной силы [1]. Метель становится опасным метеорологическим явлением тогда, когда скорость ветра усиливается до 15 м/с и более продолжительностью не менее 12 часов.

Метели причиняют значительный экономический ущерб. Они нарушают равномерное распределение снежного покрова на полях: оголяют возвышенные места и образуют сугробы в низких местах. В результате неравномерного залегания снега озимые посевы и многолетние травы на возвышенных местах могут вымерзнуть, а в низких местах – пострадать от выпревания и вымокания. Сильный ветер переносит снег на большие расстояния, что приводит к значительным заносам. Метели в зависимости от интенсивности являются опасным явлением для авиационного, железнодорожного и автомобильного транспорта, являются причиной обрыва линий электропередач и др.

Например, 8 января 1982 г. на большей части территории республики наблюдались снегопады, метели, усиление ветра порывами до 15–24 м/с, по северо-востоку Могилевской области (метеостанция Горки) метель достигла критериев особо опасных значений. Метель продолжалась 14 часов (с 10.00 ч. 08.01.1982 г. до 00.00 ч. 09.01.1982 г.) при средней скорости ветра 15 и в порывах 22 м/с. Снежные заносы, возникшие в результате метели и снегопада, привели к задержке на сутки автобусного движения и обрыву проводов линий электропередач по району в 40 местах [2].

На метеостанции Новогрудок с 30 января (5 ч. 45 мин.) по 31 января 1988 г. (0 ч. 31 мин.) года наблюдалась сильная метель с видимостью 200–700 метров. Выпадение снега сопровождалось ветром со скоростью 15–16 м/с с порывами 20–22 м/с. На территории гидропоста Дубой с 21.00 30 января до 9.00 31 января выпало 21,5 мм снега. В результате длительной и сильной метели во многих хозяйствах района произошёл обрыв линий радио- и электропередач [3].

Закономерности формирования метелей на территории Беларуси изучены недостаточно, в опубликованных работах [4; 5; 6] рассматривается территория России и только вскользь территория Беларуси.

Целью настоящей работы является анализ пространственно-временных изменений количества дней с метелями на территории Беларуси в современных условиях.

Исходные данные и методы исследования

Основными исходными материалами при исследовании пространственно-временной структуры количества дней с метелями в Беларуси послужили среднемесячные данные по 45 метеостанциям за период с 1975 по 2008 гг., опубликованные в государственном кадастре по климату Департамента по гидрометеорологии республикан-



ского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Для получения обеспеченных величин числа дней с метелями использовано распределение накопленной вероятности Вейбулла. Для получения оценок максимального правдоподобия параметров двух- или трехпараметрического распределения Вейбулла используются стандартные итерационные методы минимизации функций.

Оценка параметра положения для трехпараметрического распределения Вейбулла связана с рядом вычислительных трудностей. В частности, если параметр формы меньше 1, то не существует оценок максимального правдоподобия параметров. В других случаях функция правдоподобия может иметь несколько локальных максимумов. Лоулесс (Lawless) в последнем случае рекомендует использовать для оценки параметра положения наименьшее время отказа (или значение чуть меньшее его).

Плотность распределения случайной величины имеет вид:

$$f = e^{\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}} x^{-1+\alpha} \alpha \beta^{-\alpha}. \quad (1)$$

Плотность вероятности x в распределении Вейбулла пропорциональна $x^{-1+\alpha} \alpha \beta^{-\alpha}$ для $x > 0$ и является нулем для $x < 0$.

Известен математический алгоритм определения параметров для распределения Вейбулла методом максимального правдоподобия. Точечная оценка $\tilde{\alpha}$ и $\tilde{\beta}$ параметров α и β распределения Вейбулла на основе временного ряда наблюдений за числом дней с метелями осуществляется по методу максимального правдоподобия. Для реализации данной задачи составлена система уравнений максимального правдоподобия:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\text{Log} \left[\prod_{i=1}^n \left(e^{-\left(\frac{x[[1,j,i]]}{\beta}\right)^{\alpha}} x[[1,j,i]]^{-1+\alpha} \alpha \beta^{-\alpha} \right) \right] \right) = 0. \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\text{Log} \left[\prod_{i=1}^n \left(e^{-\left(\frac{x[[1,j,i]]}{\beta}\right)^{\alpha}} x[[1,j,i]]^{-1+\alpha} \alpha \beta^{-\alpha} \right) \right] \right) = 0. \quad (3)$$

Данные уравнения решались численными методами с использованием компьютерной программы «Mathematica 6.0». В большинстве рядов наблюдений по метеостанциям отмечаются годы, когда метели не наблюдались. Поэтому для подбора наиболее оптимальной функции распределения необходимо использовать биномиальное распределение. При этом происходит перемножение заранее сгенерированных векторов случайных чисел с заданными параметрами распределения. Таким образом, мы получаем вектор наиболее близко соответствующий распределению исходного временного ряда. На основе данного вектора определяем значения обеспеченных величин.

Для станций, к данным которых не смогли подобрать функцию распределения Вейбулла, для получения обеспеченных величин числа дней с метелями использовали распределение Пирсона III типа и соотношение

$$N_{p\%} = N_{cp} (\Phi_{p\%} \cdot C_v + 1), \quad (4)$$



где $N_{p\%}$ – число дней с метелями расчетной обеспеченности; N_{cp} – среднее число дней с метелями; $\Phi_{p\%}$ – число Фостера расчетной обеспеченности; C_v – коэффициент вариации.

Пространственная изменчивость количества метелей оценивалась с помощью картографирования. Временная изменчивость количества дней с метелями определялась стандартными статистическими методами.

Трансформация количества метелей оценивалась по результатам анализа графиков хронологического годового хода, разностных интервальных кривых и линейных трендов.

Тенденция изменения числа метелей в годы определялась с помощью линейных трендов

$$N = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot t, \quad (5)$$

где N – количество дней с метелями в году; α_0 , α_1 – эмпирические коэффициенты; t – текущая координата времени.

Обсуждение результатов

Наиболее благоприятные условия для развития метелей создаются в районах, где циклон приближается к продолжающему еще усиливаться антициклону или отрогу.

Метели в Беларуси чаще всего возникают при перемещении циклонов и ложбин с запада на восток (приблизительно 50% от их общего числа). С перемещением циклонов с северо-запада и севера на юг связано около 25% метелей и приблизительно такое же количество – с выходом южных циклонов к северу. Наиболее продолжительны метели тогда, когда образуются на периферии мощного стационарного антициклона [7]. В долинах рек, вследствие отклонения общего потока воздуха от первоначального направления, метели отмечаются при изменении направления ветра. Ветер в циклоне отклоняется влево и ослабевает, когда дует с воды на сушу. Отклонение воздушного потока или изменение его скорости, обусловленное местными особенностями рельефа, наблюдается у береговой линии, вблизи возвышенностей, холмов, речных долин.

Начиная с 1988 г. на территории Беларуси наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха [8]. В 1988 г. средняя годовая температура воздуха была выше средних многолетних температур на 0,3–0,9°C. Средняя годовая температура воздуха в 1989 г. составляла от 7°C тепла на крайнем востоке до 9–9,5 °C – на крайнем юго-западе Беларуси, что на 2–2,5 °C теплее обычного, а для северо-востока Витебской области – почти на 3 °C выше средних многолетних температур.

Для оценки влияния потепления на количество дней с метелями исходные данные были разбиты на два периода: с 1975 по 1987 гг. и с 1988 по 2008 гг. Как показал анализ, среднее количество дней с метелями, приходящихся на одну метеостанцию в году за 30-летний период составляет 6,3 дня. Среднее количество дней с метелями в период с 1975 по 1987 гг. составляло 10,9 дня. Это статистически значимо различается по сравнению со вторым периодом (1988–2008 гг.) и составляет 3,4 дня, анализ различий в числе дней с метелями показал, что практически для всех метеостанций произошло существенное уменьшение для рассматриваемых периодов (таблица 1).

Например, на метеостанции Верхнедвинск за период 1975–1987 гг. отмечалось 15,1 дня с метелями, а в 1988–2008 гг. – 6,3 дня; по метеостанции Езерище – 19,6 и 4,9 дня соответственно; по метеостанции Шарковщина в период с 1975 по 1987 гг.



отмечалось 10,6 дня с метелями, а в период 1988–2008 гг. – 1,3 дня. По метеостанции Минск в период с 1975 по 1987 гг. отмечалось 15,5 дня с метелями, в период с 1988 по 2008 гг. отмечалось 3,0 дня; по метеостанции Житковичи – 13,7 и 1,1 дня соответственно.

Таблица 1 – Число дней с метелями на территории Беларуси за различные интервалы осреднения и параметры распределения

Метеостанции	Среднее за период			α	β	ps	Cv	Обеспеченность, %	
	1975–2008	1975–1987	1988–2006					1	5
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Верхнедвинск	9,6	15,1	6,3	1,4	10,6	1,0	0,7	31,4	23,1
Езерище	10,5	19,6	4,9	1,1	11,8	0,9	1,0	44,4	30,1
Полоцк	6,9	9,2	5,4	1,2	12,2	0,9	0,8	44,2	30,3
Шарковщина	4,9	10,6	1,3	1,2	7,7	0,7	1,2	25,3	16,9
Витебск	10,6	12,8	9,1	1,5	11,7	1,0	0,7	32,3	24,2
Лынтупы	5,5	11,0	2,1	1,2	7,5	0,8	1,2	28,4	18,6
Лепель	6,8	9,1	5,4	1,1	8,4	0,8	1,0	31,1	20,8
Докшицы	6,6	11,2	3,7	1,1	8,1	0,9	1,2	31,0	20,6
Сенно	4,0	7,5	1,8	–	–	–	1,0	13,3	10,6
Березинский заповедник	6,6	12,3	3,1	1,2	13,7	0,8	1,3	45,5	31,1
Орша	10,5	11,3	10,0	2,0	12,5	0,9	0,6	26,2	21,1
Вилейка	5,6	10,8	2,3	1,3	7,9	0,8	1,0	25,1	17,3
Борисов	7,5	15,8	2,3	0,9	8,0	0,9	1,1	39,5	24,7
Воложин	6,2	10,2	3,7	1,1	7,6	0,9	1,0	29,1	19,4
Минск	7,8	15,5	3,0	1,1	8,5	0,9	1,0	34,9	23,2
Березино	5,8	12,2	1,8	1,1	7,6	0,8	1,1	27,6	18,5
Марьина Горка	7,4	11,4	4,9	1,6	9,2	0,9	0,8	23,9	17,9
Столбцы	5,1	6,9	3,9	1,3	6,7	0,9	1,0	20,6	14,7
Слуцк	12,1	18,4	8,1	1,6	13,5	1,0	0,7	35,2	26,8
Ошмяны	3,6	7,2	1,4	–	–	–	1,3	14,5	11,3
Лида	6,6	11,5	3,7	1,2	7,8	0,9	0,9	26,3	18,4
Гродно	5,6	9,5	3,2	1,2	7,1	0,9	1,0	23,9	16,6
Новогрудок	6,7	12,8	3,0	1,1	7,6	0,9	1,0	31,0	20,5
Волковыск	7,0	11,8	4,0	1,2	8,2	0,9	0,9	28,5	19,9
Горки	6,7	14,5	1,8	1,2	10,5	0,7	1,1	34,0	23,1
Могилев	9,8	21,8	2,4	0,9	11,4	0,8	1,2	58,1	35,3
Кличев	5,2	7,8	3,6	–	–	–	0,8	14,9	12,0
Славгород	7,6	13,0	4,3	1,2	9,2	0,9	1,0	32,0	22,1



Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Костюковичи	10,8	14,3	8,6	1,9	12,8	0,9	0,6	28,2	22,4
Бобруйск	5,6	10,2	2,7	1,1	7,6	0,8	1,1	21,0	18,5
Барановичи	4,5	9,9	1,1	1,0	6,7	0,7	1,4	26,8	16,9
Ивацевичи	8,8	14,3	5,4	1,6	11,5	0,9	0,8	29,2	22,1
Пружаны	4,7	9,0	2,0	–	–	–	1,0	15,7	12,4
Высокое	3,1	5,7	1,4	–	–	–	1,3	12,5	9,7
Полесская Болотная	2,5	2,1	2,8	–	–	–	1,5	11,2	8,7
Пинск	4,5	10,2	0,9	1,0	6,6	0,7	1,4	27,6	17,2
Брест	3,4	6,8	1,3	1,0	5,8	0,6	1,6	23,3	14,3
Жлобин	5,1	9,9	2,2	1,4	6,9	0,8	0,9	19,6	14,2
Октябрь	3,7	7,4	1,4	–	–	–	1,1	13,2	10,4
Гомель	6,7	10,1	4,6	1,3	7,7	0,9	0,8	23,9	17,2
Василевичи	4,9	8,6	2,5	–	–	–	1,0	16,3	12,9
Житковичи	5,9	13,7	1,1	0,9	7,5	0,7	1,4	40,4	23,5
Мозырь	5,4	11,1	2,0	1,1	7,5	0,8	1,1	27,1	18,0
Лельчицы	3,9	7,2	1,9	–	–	–	1,1	13,9	10,9
Брагин	2,7	4,6	1,6	–	–	–	1,0	9,0	7,1
Среднее	6,3	11,0	3,4	1,0	7,0	0,7	1,1	23,9	16,4

Примечание – курсивом выделены значения, полученные с помощью распределения Пирсона III типа

По отдельным метеостанциям значительных изменений в сторону уменьшения количества дней с метелями не наблюдается. Так, по метеостанции Орша в период с 1975 по 1987 гг. отмечалось 11,3 дня, а в период с 1988 по 2008 гг. – 10,0, по метеостанциям Столбцы – 6,9 и 3,9 дня. По станции Полесская Болотная отмечается незначительное увеличение количества дней с метелями – 2,1 и 2,8 соответственно. Это может быть связано с географическим положением станций и особенностями подстилающей поверхности.

В отдельные годы число дней с метелями значительно отклоняется от средней величины. Коэффициент вариации (C_v) составляет 1,1, он колеблется по территории от 1,6 на метеостанции Брест до 0,6 в Орше, Костюковичах. Статистические характеристики временных рядов числа дней в году с метелями за период с 1975 по 2008 гг. приведены в таблице 1.

Пример применения распределения накопленной вероятности Вейбулла для получения обеспеченных величин числа дней с метелями. Например, на метеостанции Езерище из 34 лет наблюдений в 2 годах отсутствуют метели: $\alpha = 1,14$, $\beta = 11,76$, $p_s = 0,94$ вероятность появления 7,8 дней с метелями составляет 50%, а гистограмма распределения имеет вид (рисунок 1). На метеостанции Березино из 34 лет наблюдений в 2 годах отсутствуют метели: $\alpha = 1,14$, $\beta = 7,61$, $p_s = 0,79$ вероятность появления 7,6 дней с метелями составляет 50%, 0,5 дня с метелями в 95% лет; на метеостанции Городище из 34 лет обобщения в 22 годах данные отсутствуют: $\alpha = 1,52$, $\beta = 4,67$, $p_s = 0,35$, 9,6 дней с метелями будет отмечаться в 25% лет; на метеостанции Брест: $\alpha = 1,0$, $\beta = 5,8$, $p_s = 0,94$, 4,9 дней с метелями отмечаются в 25% лет.

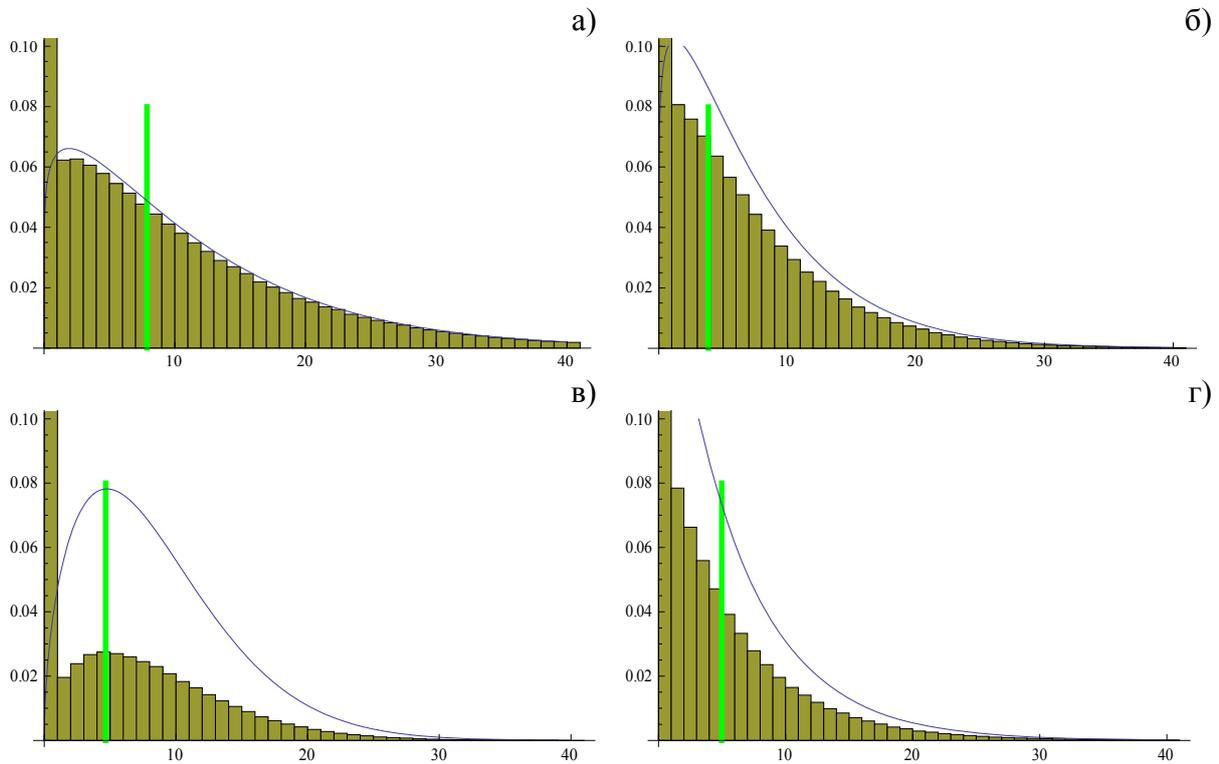


Рисунок 1 – Гистограмма распределения числа дней с метелями по метеостанциям Езерышча (а), Березино (б), Городище (в), Брест (г)

Пространственное распределение метелей имеет долготный характер (рисунок 2). Чаще всего метели проходят по северу и северо-востоку республики (около 13 дней), несколько реже отмечаются по югу республики (около 3 дней).

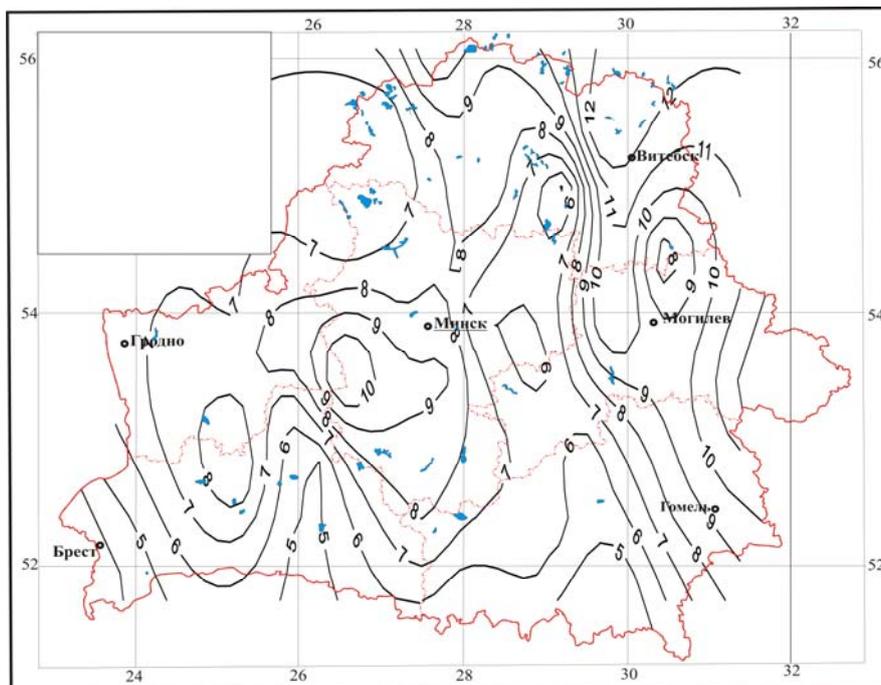


Рисунок 2 – Среднее годовое количество дней с метелями по метеостанциям на территории республики



Метели как стихийное метеорологическое явление по республике проходят редко – в среднем в 2,8 года из 24 лет обобщения [9]. Чаще всего метели такой интенсивности наблюдались в Новогрудке – в 6 годах из 24 лет обобщения, в Орше и Пинске – в 5 годах из 24 лет обобщения. На метеостанциях Березинский заповедник, Нарочь, Радошковичи данное явление не отмечалось вообще.

На рисунке 3 представлен временной ход метелей. На вторую половину 70-х – начало 80-х гг. приходится максимальное количество дней с метелями, а в начале 90-х годов – минимальное количество дней с метелями. Такой ход метелей связан с тем, что в последние 11 из 12 лет (включая 2006 г.) являются самыми теплыми за весь период инструментальных наблюдений за глобальной температурой приземного воздуха (с 1850 г.) [10].

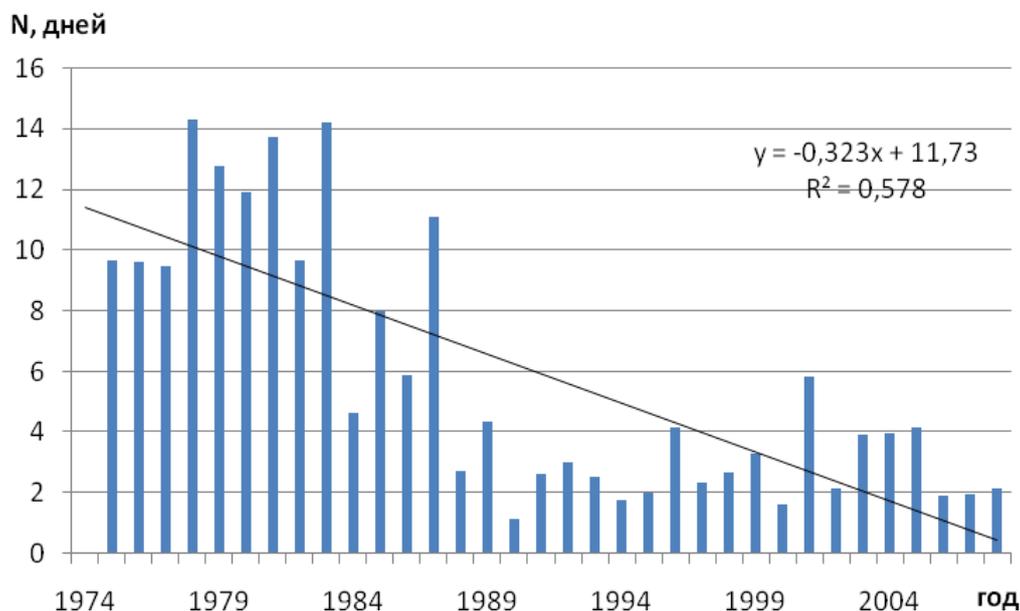


Рисунок 3 – Годовой ход среднего количества дней с метелями по метеостанциям на территории Беларуси

В основном метели отмечают с декабря по февраль (рисунок 3). На январь–февраль приходится около 80% всех явлений. В декабре регистрируется около 1,6 дней с метелями, наибольшее количество отмечалось в 1981 г. – 5,6 дня, в 1984 г. – 4,2, в 1975 г. – 4,1 дня. В январе отмечается в среднем около 2,1 дня с метелью, однако в отдельные годы (1976, 1982) отмечалось 7,3 и 7,1 дня соответственно, в феврале – около 1,6 дня с метелями. В 1988–1989 гг. отмечается значительное уменьшение количества дней с метелями. Так, в 1987 г. в январе регистрировалось в среднем около 5,2 дня в году с метелями, а в 1988 г. – 0,7, в 1989 г. – 0,5 дня с метелями. Отличительной особенностью января и февраля 1989 г. была аномально теплая погода с отсутствием снежного покрова почти на протяжении всего периода. В XX в. такое наблюдалось впервые. В феврале отмечалась ситуация, подобная январю. В 1987 г. регистрировалось около 2,5 дня с метелями, в 1988 г. – 0,04, в 1989 г. – 0,7, в 1990 г. – 0,3 дня с метелями, приходящихся на одну метеостанцию. В весенние месяцы метели также отмечают по территории республики. В марте – около 0,8 дня с метелями, в апреле – 0,2 дня. Очень редко метели отмечают в мае – 0,002 дня. В осенние месяцы метели отмечают ред-



ко, как и в весенние месяцы, в ноябре месяце – около 0,5 дня с метелями, в сентябре и октябре – 0,03 дня.

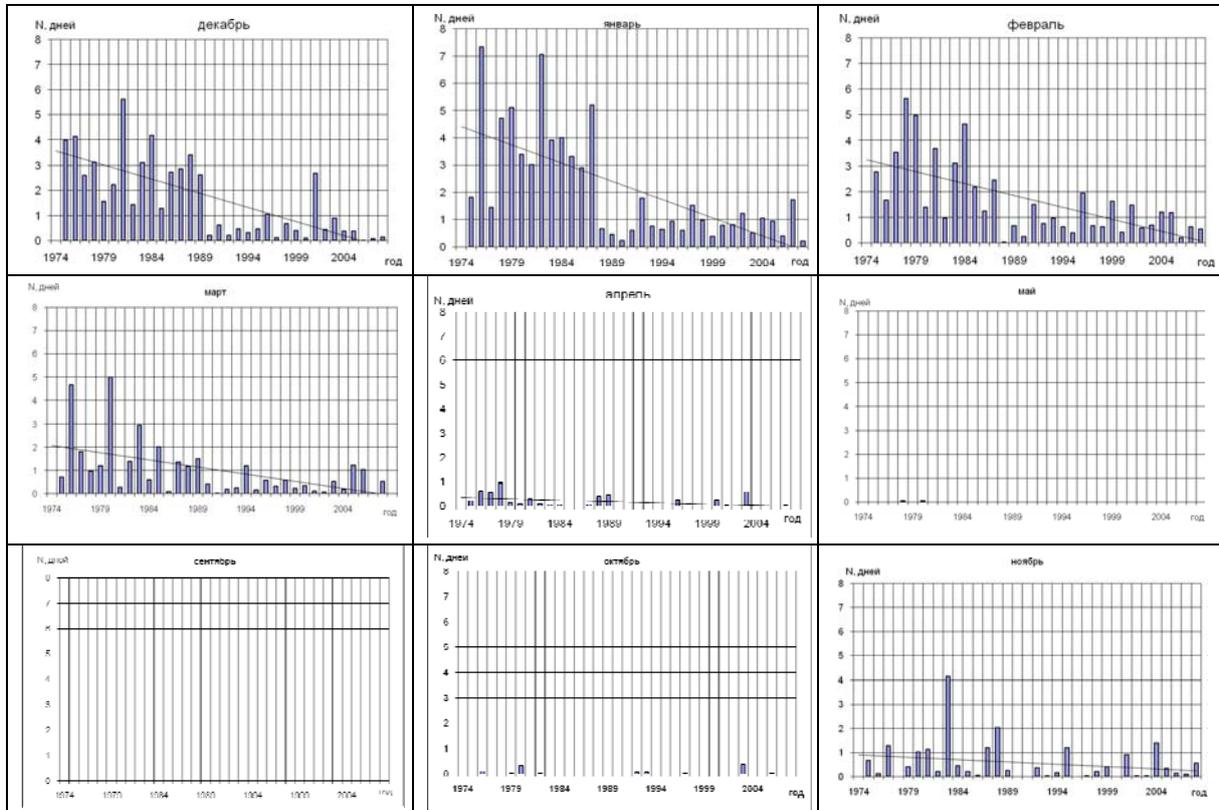


Рисунок 3 – Изменение среднего количества дней с метелями в году по метеостанциям на территории Беларуси

Годовой ход метелей как стихийного метеорологического явления представлен в таблице 2, из которой видно, что чаще всего опасная ситуация складывается в январе месяце – в среднем 45,2% от общего числа дней с явлением по пунктам, реже в декабре и феврале – 21 и 26% соответственно. В Витебской, Минской, Гродненской, Могилевской областях в марте месяце отмечаются сильные метели – в среднем 9,5% от общего числа дней с явлением по пункту. В апреле наблюдаются метели – в 6% от общего числа дней с явлением (в Минской и Брестской областях).

Таблица 2 – Годовой ход метелей как стихийного метеорологического явления (повторяемость, %, от общего числа дней с явлением по пункту)

Области	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Витебская	46	11	27		–	–	–	–	–	–	–	16
Минская	56	9	6	3	–	–	–	–	–	–	–	26
Гродненская	48	35	2		–	–	–	–	–	–	–	15
Могилевская	27	35	3		–	–	–	–	–	–	–	35
Брестская	51	31		9	–	–	–	–	–	–	–	9
Гомельская	43	33			–	–	–	–	–	–	–	24
Среднее значение	45	26	6	2	–	–	–	–	–	–	–	21



Географічнае распаўсюджванне метелей знаходзіцца ў залежнасці ад розных фактараў. Уплыў возвышенностей на ўзвядзенне выпадаючых ападкаў за год складае 16% на кожныя 100 м павышэння месцінасці [11]. У табліцах 3, 4 і на малюнку 6 прыведзена залежнасць паўтараемасці метелей ад вышыні месцінасці.

Табліца 3 – Колькасць метелей на метеаралагічных станцыях паўночнай і цэнтральнай частак тэрыторыі Беларусі

Равнінная тэрыторыя			Возвышенная тэрыторыя		
Метеостанцыя	Вышыня пункта, м	Колькасць метелей	Метеостанцыя	Вышыня пункта, м	Колькасць метелей
Гродно	117	5,6	Езеришча	172	10,5
Шарковщина	130	4,9	Марына Горка	175	7,4
Верхнедзвінск	132	9,6	Орша	186	10,5
Полоцк	132	6,9	Борисов	188	7,5
Лида	152	6,6	Могилев	190	9,8
Кличев	154	5,2	Горкі	200	6,7
Березино	170	5,8	Мінск	222	7,8
Столбцы	172	5,1	Новогрудок	278	6,7
Средняя вышыня станцыі над узроўнем мора і сярэдняе лічба метелей	144,9	6,2	Средняя вышыня станцыі над узроўнем мора і сярэдняе лічба метелей	201,4	8,4

Табліца 4 – Колькасць метелей на метеаралагічных станцыях Полесся

Метеостанцыя	Вышыня пункта, м	Колькасць метелей
Брагин	114	2,7
Житковичи	135	5,9
Гомель	138	6,7
Василевичи	139	4,9
Октябрь	141	3,7
Брест	141	3,4
Полесская Болотная	141	2,5
Лельчицы	141	3,9
Ивацевичи	153	8,8
Пружаны	159	4,7
Мозырь	162	5,4
Высокое	163	3,1
Средняя вышыня станцыі над узроўнем мора і сярэдняе лічба метелей	143,9	4,6

На возвышенной частцы паўночнай і цэнтральнай тэрыторыі Беларусі метели адзначаюцца часцей (8,4 дні з метелямі), чым на раўніннай тэрыторыі (6,2 дні). На тэрыторыі Беларускага Полесся колькасць дняў з метелямі складае каля 4,2 дняў у месяц, прыходзячыхся на адну метеаралагічную станцыю. Гэта звязана з неустойчивой стратифікацыяй атмасферы, сильнай канвекцыяй і большай вадкасцю аблокаў на Полесскай



низменности является более существенным, чем такой географический фактор, как высота над уровнем моря.

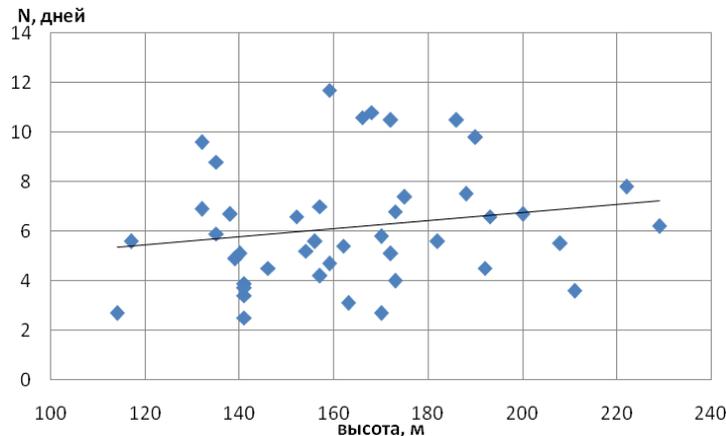


Рисунок 6 – Зависимость среднего годового количества метелей от высоты местности

На пути воздушного потока лесные массивы и отдельные островки леса играют роль возвышенностей на равнине и способствуют повышению турбулентности, особенно, если лесной массив с вырубками и просеками. В районах, где лесистость не превышает 20–25%, число дней с метелями около 10 дней, где лесистость более, число дней с метелями 4–6 и менее. В целом четкой зависимости интенсивности прохождения метелей от лесистости территории не выявлено.

Заклучение

Среднее количество дней с метелями приходящихся на одну метеостанцию, в году за 30-летний период составляет 6,3 дня. В отдельные годы число дней с метелями значительно отклоняется от средней величины. Коэффициент вариации составляет $C_v = 1,1$. Пространственное распределение метелей имеет долготный характер. Чаще всего метели проходят по северу и северо-востоку республики (около 13 дней), несколько реже отмечаются по югу республики (около 3 дней).

Метели как опасное метеорологическое явление по республике проходят в среднем 1 раз в 3–4 года (в 7–8 годах из 24 лет обобщения).

На вторую половину 70-х – начало 80-х гг. приходится максимальное количество дней с метелями (10,4 дня с метелями), а в начале 90-х гг. – минимальное количество дней с метелями (2,5). В основном метели отмечают с декабря по февраль. На январь–февраль приходится 80% всех явлений. В весенние месяцы метели также отмечаются по территории республики. В марте – около 0,8 дня с метелями, в апреле – 0,2 дня. Очень редко метели отмечаются в мае – 0,002 дня. В осенние месяцы метели отмечаются редко, как и в весенние месяцы, в ноябре месяце – около 0,5 дня с метелями, в сентябре и октябре – 0,03 дня.

Опасная ситуация чаще всего складывается в январе месяце – в среднем 45,2% от общего числа дней с явлением по пунктам, реже в декабре и феврале – 21 и 26% соответственно. В Витебской, Минской, Гродненской, Могилевской областях в марте месяце отмечаются сильные метели – в среднем 9,5% от общего числа дней с явлением по пункту. В апреле наблюдаются метели – в 6% от общего числа дней с явлением (в Минской и Брестской областях).



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хромов, С.П. Метеорологический словарь / С.П. Хромов. Л.И. Мамонтова. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.
2. Технический обзор особо опасных гидрометеорологических явлений, наблюдавшихся на территории Белоруссии в 1982 году / Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды; Белорусское республиканское управление по гидрометеорологии и контролю природной среды; Бюро погоды ; под ред. В.А. Аввакумова. – Минск, 1983. – 36 с.
3. Технический обзор стихийных гидрометеорологических явлений, наблюдавшихся на территории Беларуси в 1988 году / Государственный комитет СССР по гидрометеорологии; Белорус. республ. управ. по гидрометеорологии; Управл. по гидрометеорологии; Гидрометеорологический центр ; ред. В.А. Аввакумов. – Минск. – 33 с.
4. Мещерская, А.В. Повторяемость метелей в 1960–1980-е гг. на водосборе Волги и Урала / А.В. Мещерская. Э.И. Шевкунова, И.Ф. Гетман // Известия РАН. Серия географическая. – 2007. – № 1. – С. 35–44.
5. Кожухметова, Э.П. Влияние глобального потепления климата на повторяемость опасных атмосферных явлений в Казахстане / Э.П. Кожухметова // Гидрометеорология и экология. – 2006. – № 1. – С. 42–49.
6. Андреева, Е.С. Опасные явления погоды юга России / под ред. Л.Н. Карлина – СПб. : РГГМУ. ВВМ, 2006. – 216 с.
7. Климат Беларуси / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск : Ин-т геологич. наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.
8. Логинов. В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В.Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008 – 486 с.
9. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси : Справочник / Мин-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь ; под общ. ред. М.А. Гольберга. – Минск : Белорус. науч.-исслед. центр Экология, 2002. – 132 с.
10. Мелешко, В.П. Климат России в XXI веке / В.П. Мелешко [и др.]. Часть 1, новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 6. – М. : ГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета». – С. 5–9.
11. Шкляр, А.Х. Климат Белоруссии и сельское хозяйство / А.Х. Шкляр. – Минск : Изд-во Мин-ва высшего, среднего спец. и проф. образ. БССР, 1962. – 423 с.

A.A. Volchek. I.N. Shpoka. N.N. Sheshko. Repeatability of Blizzards in Territory of Belarus

In the article the change of number of days with blizzards on the territory of Belarus and the peculiarities of their formation from 1975 till 2008 is considered. Blizzards have big spatial and time variability. Spatial variability of blizzard characteristic in Belarus was estimated by means of mapping of these characteristics. Standard statistical methods have allowed establishing time laws in formation of blizzards.



УДК 550.42 (476)

А.В. Матвеев, В.Е. Бордон, Л.А. Нечипоренко

ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВДОЛЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

По данным приближенно-количественного спектрального анализа образцов, отображенных на 19 ключевых участках, установлено загрязнение покровных отложений в придорожных полосах Zr, Pb, Mn, Cu, Ti, Ni, Cr, V, изредка Ba, P, В. Максимальная концентрация элементов-контаминантов приурочена к полосе 40–80 м от полотна дороги. Распределение техногенных примесей довольно неравномерное, зависит от интенсивности движения автотранспорта и ряда других причин, на локальных участках содержание элементов может превышать ПДК.

В настоящее время в результате совместного проявления техногенных и природно-техногенных процессов происходит существенное преобразование природных комплексов, находящихся в сфере влияния человеческой деятельности. Одним из важных и неблагоприятных направлений трансформации ландшафтов является формирование геохимических аномалий в покровных отложениях (почвах) [1]. Основными причинами возникновения этих аномалий являются автотранспорт, промышленные предприятия, энергетические установки, отходы коммунального хозяйства и др. При этом на территории Беларуси ежегодное поступление выбросов в атмосферу, вызывающих впоследствии загрязнение почв, превышает 1,3 млн. т, в том числе на долю передвижных источников (в основном автомобилей) приходится около 950 тыс. т, что составляет почти 73% всех загрязнителей воздуха [2].

Несколько иначе оценивают вклад транспортных средств в дестабилизацию природных комплексов украинские исследователи. По их мнению, на долю автомобильного транспорта приходится не менее 13% всех выбросов [3]. Вероятно, эти относительно невысокие оценки объясняются интенсивным развитием на территории Украины горнодобывающей, металлургической промышленности и разнообразного машиностроения, выбросы от которых и понижают относительное значение в загрязнении покровных отложений передвижных источников.

Отмечая отрицательное воздействие автотранспорта на природные комплексы, следует подчеркнуть, что изучение этих неблагоприятных процессов на территории Беларуси осуществляется в недостаточном объеме, хотя даже при приближенных оценках экологический ущерб от их проявления оценивается почти в 170 млрд. рублей [4]. Основные направления работ в нашем регионе связаны с изучением общего загрязнения почв населенных пунктов и агроценозов [1; 5–8] и в меньшей степени посвящены роли автотранспорта в формировании геохимических аномалий [6; 9; 10]. Причем, характеризуя выбросы автомобилей, авторы обычно ограничиваются или каким-либо регионом, или приводят общий перечень состава контаминантов (Zn, Pb, Cu, Ni, Cd, Mn, Co), отмечая, что их максимальные концентрации приурочены к придорожной полосе шириной до 300 м.

Общий вывод об уровнях современного загрязнения часто является довольно оптимистичным: интеграционная оценка загрязнения полос не превышает допустимых значений [10], хотя на отдельных участках концентрации Zn, Cu, Cd, Pb могут превышать ПДК. Между тем проблема безопасности населения требует тщательного анализа



влияния автомобильного транспорта на экологическую обстановку как в стране в целом, так и в отдельных регионах. И с каждым годом эта проблема становится острее: увеличивается количество транспорта, объемы перевозок различных грузов, протяженность транспортных магистралей. Уже сегодня они, подобно кровеносным сосудам, практически пронизывают всю территорию республики, а количество выбросов в атмосферу загрязняющих веществ превышает природные.

Так, еще в восьмидесятых годах прошлого века благодаря сжиганию жидкого топлива (автомобили, самолеты, тракторы и др.) в воздух выбрасывалось только свинцовых частиц свыше 260 тыс. т в год, что в 60–130 раз превосходило естественное поступление свинца в атмосферу при вулканических извержениях (2–3 тыс. т/год) [11]. При этом не учитывалось неизбежное увеличение концентраций элементов-спутников свинца – Zn, Ni и некоторых других. Что касается характера перевозимых грузов и его влияния на содержание вредных примесей в придорожной полосе, то они практически не изучались и не учитывались при оценке общего экологического состояния окружающей среды. Между тем в Солигорском районе при перевозке солей и рассолов теряется до 3–5% их веса из-за некачественной тары, что приводит к сильному загрязнению придорожных участков Na, K, Cl и некоторыми другими элементами. Аналогичная картина наблюдается в Полоцком, Мозырском районах, где, по нашим данным, вдоль ряда дорог полосой до 80–100 м наблюдаются аномальные содержания битумов и других нефтепродуктов.

Фактический материал

Для пополнения имеющихся данных о влиянии автотранспорта на загрязнение покровных отложений авторами были проведены специальные исследования на 19 ключевых участках, расположенных в разных частях Беларуси и вдоль дорог разного ранга (рисунок 1).

Так, Ислочский участок находится у дороги местного значения, западнее д. Киевец, в 0,4 км западнее шоссе Минск – Ивенец; Молодечненский – вдоль шоссе Минск – Молодечно на юго-восточной окраине г. Молодечно; Заславский – у шоссе Заславль – Раков, в 2 км западнее г.п. Заславль; Негорельский – вдоль дороги местного значения г.п. Негорелое – д. Старина, южнее г. Дзержинска; Колосовский – у дороги местного значения, отходящей от магистрали Минск – Брест на д. Засулье, в 10 км к северо-востоку от г. Столбцы; Засульский – возле дороги местного значения между дд. Засулье – Яченка, в 9 км к северо-востоку от г. Столбцы; Узденский – вдоль шоссе юго-юго-восточнее г.п. Узда; Слуцкий – северо-восточнее г. Слуцк, вдоль шоссе Слуцк – Старые Дороги; Кобринский – на юго-западной окраине г. Кобрин, у магистральной дороги Минск – Брест; Ивацевичский – южнее г. Ивацевичи, старое шоссе Минск – Брест; Березовский – севернее г. Береза, у старого шоссе Минск – Брест; Логишинский – южнее г. Логишин, у шоссе Ивацевичи – Пинск; Борисовский – ответвление от магистральной дороги Брест – Москва на дд. Струпень – Гора, 0,5 км на юг от окраины г. Борисов; Замосточский – вдоль шоссе Червень – Смолевичи, между дд. Правда – Замосточье, севернее г. Червень; Сосновоборский – вдоль шоссе Светлогорск – Сосновый Бор, севернее г.п. Сосновый Бор; Васильковский – у шоссе Речица – Светлогорск, восточнее г. Светлогорск; Гомельский – вдоль магистральной дороги Гомель – Брест, между дд. Давыдовка – Борщевка; Житковичский – у магистральной дороги Гомель – Брест, от развилки на г. Петриков до развилки на г.п. Микашевичи; Дивинский – вдоль шоссе Кобрин – Дивин, между д. Хидры – г.п. Дивин.



На плошчы ключевых участков с интервалом от 0,1 км до 1 км отбирались образцы с глубин 0,0–0,1 м и 0,9–1,0 м. Приближенно-количественные спектральные анализы выполнялись в лабораториях Института геохимии и геофизики НАН Беларуси и центральной лаборатории ГРУП «Белгеология». Всего проанализировано более 300 образцов.

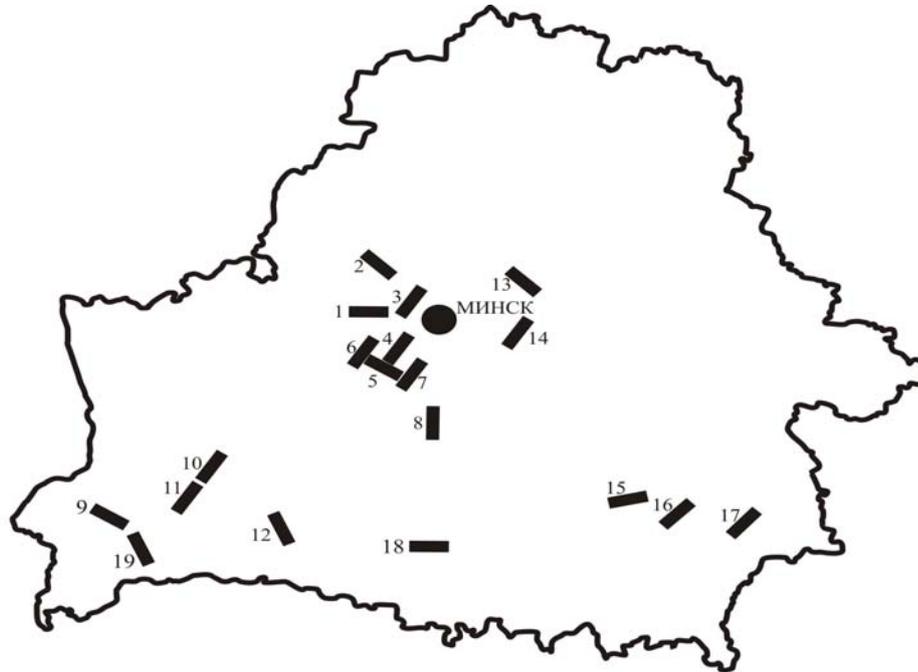


Рисунок 1 – Схема расположения ключевых участков:

- 1 – Ислочский, 2 – Молодечненский, 3 – Заславский, 4 – Негорельский,
5 – Колосовский, 6 – Засульский, 7 – Узденский, 8 – Слуцкий, 9 – Кобринский,
10 – Ивацевичский, 11 – Березовский, 12 – Логишинский, 13 – Борисовский,
14 – Замосточский, 15 – Сосновоборский, 16 – Васильковский,
17 – Гомельский, 18 – Житковичский, 19 – Дивинский

Обсуждение полученных результатов

Для оценки степени загрязнения покровных отложений техногенными выбросами сопоставлялись данные анализов образцов, отобранных с разных глубин (0,1 и 0,9–1,0 м). Это сопоставление показало, что в самом верхнем (гумусированном) слое покровных отложений, суммируя данные всех анализов, могут накапливаться Pb, B, Ni, Cr, V, Mn, Ti, Zr, Cu, Ba и P. Достаточно наглядно этот вывод иллюстрируют таблицы 1–3. Однако ассоциации элементов, концентрация которых повышается в гумусированном слое, заметно меняются от одного ключевого участка к другому (таблица 4). Из таблицы 4 следует, что чаще всего вдоль дорог повышается содержание Zr, Pb, Mn, Cu, Ti, примерно на половине проанализированных участков Ni, Cr, V и значительно реже – Ba, P, B. В зависимости от ранга дороги (республиканские магистральные, республиканские прочие и местного значения) существенных различий в загрязнении придорожных полос не выявлено, что, скорее всего, объясняется достаточно высокой интенсивностью автомобильного движения на территории всех проанализированных ключевых участков.



Таблица 1 – Микроэлементы, содержание которых (в г/т) повышено в гумусированном слое покровных отложений на территории Слуцкого участка

№ образца	Pb	B	Mn	Ti	Zr	Ba
1-07в	20	35	600	3 000	550	450
1-07н	15	28	200	1 600	350	400
2-07в	16	38	580	2 300	700	420
2-07н	17	15	610	1 500	160	440
3-07в	18	33	180	4 000	580	420
3-07н	13	22	150	550	140	350
4-07в	17	30	650	2 600	550	410
4-07н	15	36	400	2 500	800	400
5-07в	16	27	560	2 800	550	410
5-07н	15	32	550	3 000	560	420
6-07в	22	40	600	2 500	500	430
6-07н	13	32	250	1 300	400	350
8-07в	25	45	400	2 000	430	420
8-07н	15	23	200	3 100	420	430
среднее «в»	19	35	510	2 743	551	423
среднее «н»	15	27	337	1 936	404	399

Примечание – в таблицах 1–3 образцы с буквами «в» и «н» отобраны соответственно с глубин 0,0–0,1 м и 0,9–1,0 м.

Таблица 2 – Микроэлементы, содержание которых (в г/т) повышено в гумусированном слое покровных отложений на территории Житковичского участка

№ образца	Pb	Cr	Mn	Ti	Zr	Cu	P
49в	20	100	1 000	2 000	70	10	3 000
49н	7	100	200	1 000	30	5	500
50в	30	50	300	2 000	70	7	1 000
50н	10	100	200	2 000	30	20	500
51в	50	100	700	2 000	70	15	2 000
51н	10	100	500	1 000	30	15	500
52в	30	50	500	2 000	70	15	1 000
52н	15	100	200	2 000	30	10	700
53в	20	70	200	1 500	50	10	700
53н	15	10	200	1 500	30	10	700
54в	50	100	2 000	1 000	50	20	2 000
54н	7	70	300	1 000	30	10	700
55в	30	70	200	5 000	100	15	700
55н	15	70	100	2 000	30	7	500
56в	30	70	2 000	3 000	70	30	1 000
56н	10	50	300	2 000	30	10	700
57в	30	50	2 000	2 000	30	10	700
57н	15	70	700	2 000	30	10	700
58в	50	200	3 000	3 000	100	20	1 000
58н	7	100	500	1 500	50	7	700
среднее «в»	34	86	1 190	2 350	680	15	1 310
среднее «н»	11	77	320	1 600	32	10	620



Таблица 3 – Микроэлементы, содержание которых (в г/т) повышено в гумусированном слое покровных отложений на территории Борисовского участка

№№ образца	Pb	Cr	V	Mn	Ti	Zr	Cu
1-07в	12	14	15	150	1 200	260	9
1-07н	10	13	13	100	800	240	9
2-07в	11	12	16	90	800	250	8
2-07н	10	11	12	85	400	240	5
3-07в	20	14	18	250	900	300	20
3-07н	14	15	21	240	1 500	350	10
4-07в	20	16	23	500	1 500	380	9
4-07н	14	18	22	530	1 700	370	8
5-07в	13	16	20	220	1 600	300	7
5-07н	13	13	18	180	1 500	350	8
6-07в	25	50	28	150	4 000	580	20
6-07н	21	45	29	300	2 300	390	17
7-07в	14	30	24	550	3 000	310	7
7-07н	12	32	23	180	2 700	450	9
8-07в	13	18	26	350	2 000	460	8
8-07н	15	13	18	150	800	240	7
среднее «в»	16	21	21	262	1 738	346	11
среднее «н»	14	20	19	242	1 606	338	9

Таблица 4 – Техногенное загрязнение покровных отложений вдоль автомобильных дорог (показано знаком «+»)

Ключевой участок	Pb	B	Ni	Cr	V	Mn	Ti	Zr	Cu	Ba	P
Исlochский						+	+	+			
Молодечненский	+	+				+		+			
Заславский	+					+		+	+		
Негорельский		+				+		+		+	
Колосовский	+		+	+	+		+	+	+		
Засульский			+		+					+	
Узденский	+				+	+			+	+	
Слуцкий	+	+				+	+	+		+	
Кобринский	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
Ивацевичский			+		+	+	+	+			+
Березовский			+					+	+		
Логишинский	+					+		+	+		+
Борисовский	+			+	+	+	+	+	+		
Замосточский	+		+	+	+	+	+	+			
Сосновоборский	+		+	+	+	+	+	+	+		+
Васильковский	+		+	+				+	+		+
Гомельский	+		+	+		+		+			+
Житковичский	+			+		+	+	+	+		+
Дивинский	+				+		+	+			



Можно только отметить, что минимальное количество элементов-загрязнителей (3–4) установлено вдоль дорог местного значения (Ислочский, Засульский, Негорельский, Дивинский участки) и некоторых немагистральных дорог республиканского значения (Березовский, Молодечненский). Естественно предположить, что поступление загрязняющих веществ в покровные отложения происходит не только в результате движения автотранспортных средств. Поэтому наиболее вероятно, что загрязнение придорожных полос, обусловленное перемещением автомобилей, можно относить только к тем элементам, концентрация которых наиболее часто повышена вдоль дорог в регионе, то есть к Zr, Pb, Mn, Cu, Ti, возможно Ni, Cr и V. Примерно на накопление этих же элементов в придорожных полосах указывается в публикациях [6; 7; 9–12]. Исключение составляют Zr, о превышении содержания которого в почвенном слое нет ни одного упоминания в опубликованных материалах, а также Zn и Cd, данные по которым отсутствуют у авторов настоящей статьи. Что касается Zr, то его выбросы в атмосферу обычно связываются, по данным Дж. Эмсли [13], с ядерными реакторами, изготовлением тугоплавких тиглей, абразивов, керамики и др., то есть с производствами, которые на территории Беларуси развиты локально. Поэтому накопление этого элемента в гумусированном слое скорее всего обусловлено поступлением из более глубоких горизонтов – палеогеновых, меловых и нижезалегающих пород, в которых известны довольно многочисленные аномальные концентрации этого элемента [14], а также потерями обогащенных цирконом строительных песков при их перевозке.

Проведенные исследования показали, что максимумы концентраций техногенного загрязнения приурочены к полосе 40–80 м от края полотна дороги (рисунок 2). Выделенный на рисунке 2 второй пик содержаний Mn скорее всего связан с тем, что соответствующая проба была отобрана на пашне, обогащенной органическими удобрениями.

Для оценки степени опасности формирующихся уровней загрязнения придорожных полос сопоставлялись содержания отдельных элементов с ПДК. Учитывая данные «Временных методических рекомендаций по проведению геолого-экологических исследований» [15], можно сделать вывод о том, что в большинстве проанализированных образцов концентрации микроэлементов не достигают предельно допустимых величин. Однако в отдельных пробах их количества могут значительно превышать кларковые величины, приближаться и даже превышать ПДК. Так, содержание Pb в гумусированном слое иногда составляет 25–30 мг/кг (Борисовский, Кобринский, Логишинский и Слуцкий участки) и даже 50 мг/кг (Березовский, Житковичский участки), V – 150 мг/кг (Логишинский участок), Cr – 100–200 мг/кг (Гомельский, Дивинский, Житковичский и другие участки на территории Белорусского Полесья), Mn – до 3–5 г/кг (Гомельский, Кобринский, Житковичский участки).

Выводы

1. Вдоль автомобильных дорог происходит загрязнение покровных отложений (почв) Zr, Pb, Mn, Cu, Ti, Ni, Cr, V, значительно реже Ba, P, В. Степень загрязнения, по данным проведенных исследований, коррелируется не с только с рангом дороги (республиканские магистральные, республиканские прочие, местного значения), сколько с интенсивностью движения на ней.

2. Максимальное количество элементов-контаминантов приурочено к полосе 40–80 м от полотна дороги, а заметное загрязнение прослеживается в зоне до 300 м.



3. Распределение техногенных примесей в придорожных полосах довольно неравномерное, и на отдельных участках их концентрация может достигать величин, приближающихся и даже превышающих предельно допустимые концентрации (Pb – до 30–50 мг/кг, V – до 150 мг/кг, Cr – до 200 мг/кг, Mn – до 3–5 г/кг).

4. Учитывая возможность формирования на локальных участках вдоль автомобильных дорог геохимических аномалий с концентрациями элементов, близкими к ПДК, необходимо продолжить детальное геохимическое изучение придорожных полос с целью выделения особо загрязненных участков и разработки мероприятий, которые снижают неблагоприятные последствия от выбросов автомобильного транспорта.

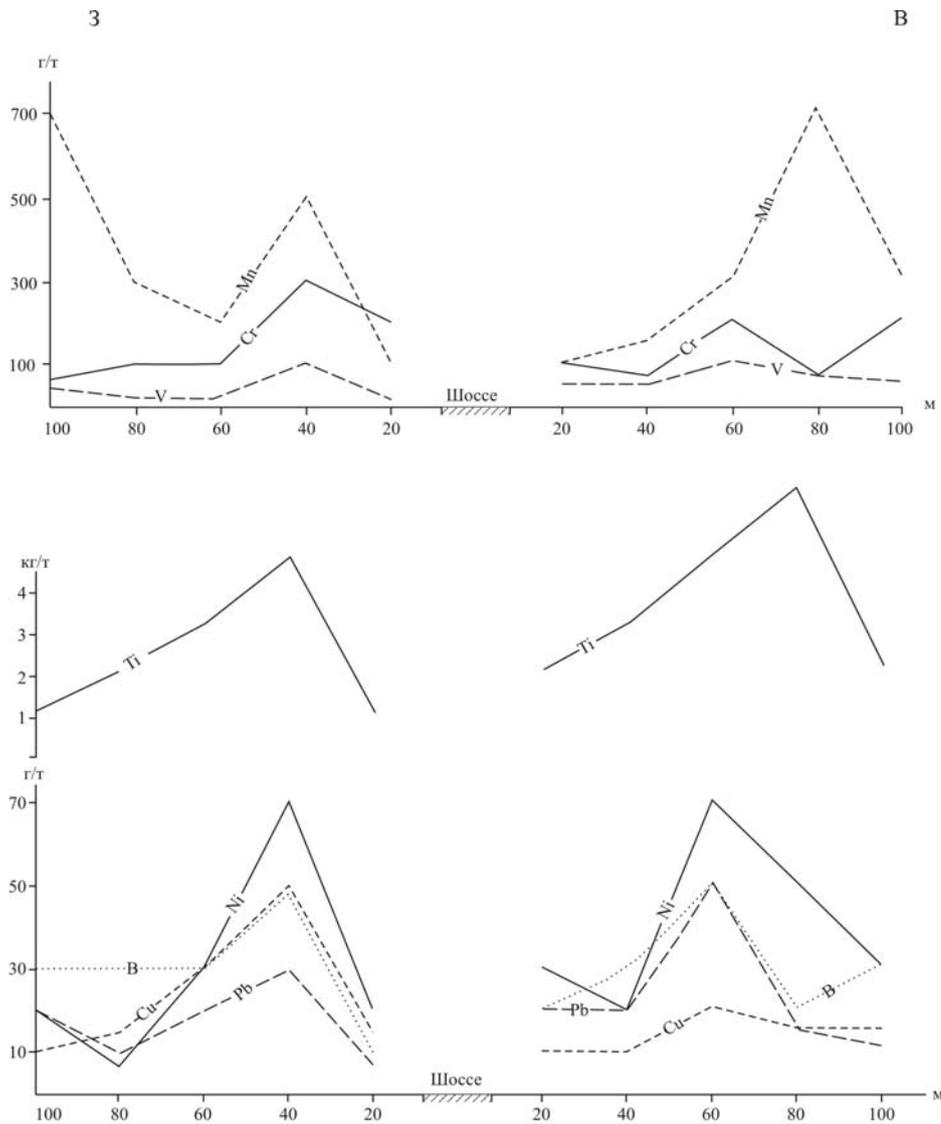


Рисунок 2 – Содержание микроэлементов, накапливающихся в гумусированном слое покровных отложений в придорожной полосе шоссе Брест – Минск юго-восточнее г. Кобрин



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев, А.В. Проблемы экологии и охраны геологической среды / А.В. Матвеев [и др.] // Геология Беларуси. – Минск, 2001. – С. 697–703.
2. Состояние окружающей среды Республики Беларусь : национальный доклад. – Минск, 2001. – 96 с.
3. Жовинский, Э.Я. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева. – Киев, 2002. – 213 с.
4. Бусько, Е.Г. Значимость экологической составляющей в системе социально-экономического развития западного региона Беларуси / Е.Г. Бусько // Региональные проблемы экологии: пути решения : материалы IV Междунар. экологич. симпозиума. – Новополоцк, 2007. – Т. 2. – С. 137–142.
5. Головатый, С.Е. Содержание тяжелых металлов в почвах агроценозов Беларуси / С.Е. Головатый, С.В. Савченко, П.Ф. Жигарев // Современные проблемы геохимии : материалы республ. науч. конф. – Минск, 2002. – С. 67–71.
6. Карпук, В.К. Техногенное влияние на формирование урболандшафтов г. Бреста / В.К. Карпук // Современные проблемы геохимии : материалы республ. науч. конф. – Минск, 2002. – С. 98–101.
7. Красовская, И.А. Оценка состояния эколого-геологических условий урбанизированных территорий / И.А. Красовская, А.Н. Галкин. – Витебск, 2007. – 165 с.
8. Состояние природной среды Беларуси : экологический бюллетень 1996 г. – Минск, 1997. – 256 с.
9. Игнатенко, Н.И. Геохимия свинца в зоне гипергенеза на примере Белоруссии : автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук / Н.И. Игнатенко. – Минск, 1986. – 20 с.
10. Кузьмин, С.И. Оценка экологического состояния почв в придорожных полосах автомагистралей (на примере Минской области) / С.И. Кузьмин, В.М. Феденя, А.В. Рудь // Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых. – Минск, 2007. – С. 123–128.
11. Бондарев, Л.Т. Микроэлементы – благо и зло / Л.Т. Бондарев. – Москва, 1984. – 144 с.
12. Матвеев, А.В. Эколого-радиационный паспорт административного района (на примере Солигорского района) / А.В. Матвеев [и др.]. – Минск, 1994. – 77 с.
13. Эмсли, Дж. Элементы / Дж. Эмсли. – М., 1993. – 256 с.
14. Аношко, Я.И. Условия формирования и вещественный состав кайнозойских россыпей в Беларуси / Я.И. Аношко, В.Е. Бордон, Е.Т. Ольховик // Важнейшие промышленные типы россыпей : материалы междунар. совещания. – Москва, 1997. – С. 61–63.
15. Временные методические рекомендации по проведению геолого-экологических исследований при геологоразведочных работах (для условий Украины) / под ред. Л.С. Галецкого. – Киев, 1990. – 87 с.

A.V. Matveyev, V.E. Bordon, L.A. Nechiporenko. Technogenic Contamination of Cover Deposits along Automobile Roads in Belarus

Contamination of cover deposits by Zr, Pb, Mn, Cu, Ti, Ni, Cr, V, and rarely by Ba, P, B in near road strips is revealed using half-quantitative spectral analyses of the samples collected in 19 key sites. Maximum concentrations of contaminants are observed within the 40-80 m distance from roads. Distribution of technogenic admixtures is rather irregular. It depends on the intensity of traffic as well as on a number of other causes. Contents of the elements may exceed occupational exposure limits in some locations.



УДК 550.461+551.311(476)

Н.А. Махнач

ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «ВОДА – КАРБОНАТНЫЕ МИНЕРАЛЫ» В ЧЕТВЕРТИЧНОЙ ТОЛЩЕ БЕЛАРУСИ (ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ХРОНОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ)

Установлена связь между степенью насыщения грунтовых вод относительно кальцита и локализацией аутигенных четвертичных карбонатов. На основании интерпретации соотношений $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в кальците нескольких генетических разностей охарактеризован потенциал исследования минерала для индикации климатических изменений в прошлом и особенностей гидрологического режима озерных, почвенных и подземных вод; выделен ряд палеогеографических событий позднеледниковья – голоцена; выявлены признаки хроностратиграфической принадлежности карбонатных осадков; зарегистрированы тенденции антропогенной деградации озер. Очерчены возможности практического приложения результатов исследования.

Введение

Взаимодействие «вода – нестабильные к химическому выветриванию карбонатные породы и минералы» является важной составляющей в комплексе процессов гипергенеза и диагенеза и вызывает интерес специалистов в областях различных геологических дисциплин, который обусловлен несколькими причинами. Растворение – образование карбонатов – во многом обуславливает характеристики природных вод [5] и динамику почвенного плодородия [10], изменяет инженерно-геологические свойства ледниковых и водно-ледниковых отложений, а также их качество как строительного сырья. Работами, проведенными в разных местах планеты, доказана палеоклиматическая, палеогидрологическая, хроностратиграфическая и геоэкологическая информативность морфологических особенностей, химического и изотопного состава карбонатных озерных отложений [11; 12], педогенных карбонатов [6; 9; 10; 14; 16], карбонатов из горизонтов грунтовых и подземных вод [17]. Аутигенные карбонатные минералы имеют определенное утилитарное значение. Они применяются для известкования почв (в целях понижения кислотности и связывания радионуклидов); для создания барьера, устраняющего эмиссию фосфора, железа, марганца из донных осадков гиперэвтрофных озер в воду [18], а также для других целей.

Разумеется, процессы и результаты преобразования карбонатного материала имеют региональную специфику, которая применительно к территории Беларуси и смежных частей Польши раскрывается в настоящей публикации. Ее цель состоит в следующем: выявить потенциал изучения литогенетических продуктов взаимодействия «вода – карбонаты» в четвертичной толще для индикации палеоклиматических и экологических изменений, хроностратиграфической принадлежности горизонтов и слоев отложений, а также очертить практическое значение полученных выводов.

В статье рассматриваются химико-термодинамические особенности системы «грунтовые воды – кальцит» и типоморфные особенности вторичных кальцитов из почв, моренных и флювиогляциальных отложений, озерных осадков.



Фактический материал и методика исследований

Материалом для термодинамического моделирования послужили результаты 2 400 химических анализов грунтовых вод Беларуси. Значительный блок гидрохимических данных был любезно предоставлен В.А. Панасенко и В.И. Пашкевичем, за что автор выражает им свою признательность. Почвенные карбонаты отбирались в 27 пунктах (108 образцов), а аутигенные карбонаты из подпочвенной части (с глубин 3–30 м) сожских четвертичных отложений – в 25 пунктах (131 образец) на территории Беларуси и Польши. Характеристика позднеледниково-голоценовых озерных карбонатов основана на изучении семи залежей.

Расчет термодинамических параметров состояния системы «вода–кальцит» проводился с использованием программы геохимического моделирования SOLMINEQ–88 [15]. Содержания химических макроэлементов в карбонатных образованиях определялись методом рентген – флуоресцентного анализа на установке СРМ-18 (аналитик А.Б. Комаров), а микроэлементов – спектральным методом на анализаторе АИ-1024 (аналитики Б.Е. Островская, С.Л. Трошина, И.Н. Тетерева). Измерения соотношений $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ были выполнены И.Л. Колосовым, В.Н. Кулешовым, М. Дулиньским и Т. Куцем на масс-спектрометре МИ-1201Б. Стратиграфическое расчленение разрезов основывалось на радиоуглеродных датировках органического вещества и карбонатной фракции (сцинтилляционным методом в бензоле), проведенных Г.И. Лучиной, Н.Д. Михайловым, В.М. Колковским, В.В. Скрипкиным, Н.Н. Ковалюхом, а также на спорово-пыльцевом зонировании, выполненном В.П. Зерницкой и Г.И. Симаковой.

Химико-термодинамические особенности системы «грунтовые воды – кальцит»

Карта-схема пространственной изменчивости индекса насыщения (I_n) грунтовых вод Беларуси относительно кальцита, на которой выделены ареалы величин $I_n > 0,5$ (максимально перенасыщенные воды); $0,5 - 0$; $0 - -0,5$; $-0,5 - -1,0$; $-1,0 - -1,5$; $< -1,5$ (наиболее агрессивные воды), была ранее предложена Н.А. Махначом и Л.Ф. Гулисом [3]. Было установлено, что среднее значение I_n равно $-0,89$, и воды 32,2 % исследованных проб перенасыщены относительно кальцита. На рисунке 1 (а, б) показаны упрощенные варианты карты-схемы. Величина I_n является косвенным количественным показателем роли аллотигенных кальцита и доломита в четвертичных отложениях, т. е. дает информацию об одной из важнейших литогеохимических характеристик покровных толщ. Вместе с тем приуроченность находок новообразованных карбонатных тел в почве и более глубоких частях зоны гипергенеза к ареалам значений $I_n > -0,5$ доказывает, что именно здесь наиболее вероятны проявления вторичной кальцитовой цементации, которая обуславливает особые (часто неблагоприятные) свойства строительного сырья и инженерно-геологические характеристики грунтов. Пространственно выдержанные сцементированные прослои могут выступать местными водоупорами и щелочными геохимическими барьерами, где, согласно [4], возможно связывание в твердой фазе ряда растворенных химических элементов (Sr, Ba, Ra, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, U). Ареалы высоких величин I_n являются теми площадями, где грунтовые и подземные воды характеризуются наибольшей жесткостью и где допустимы значительные критические нагрузки кислых атмосферных выпадений, не приводящие к подкислению озерных и речных вод, а также местами максимальной стабильности строительных конструкций (из известняка, доломита, мрамора, портландитового цемента).

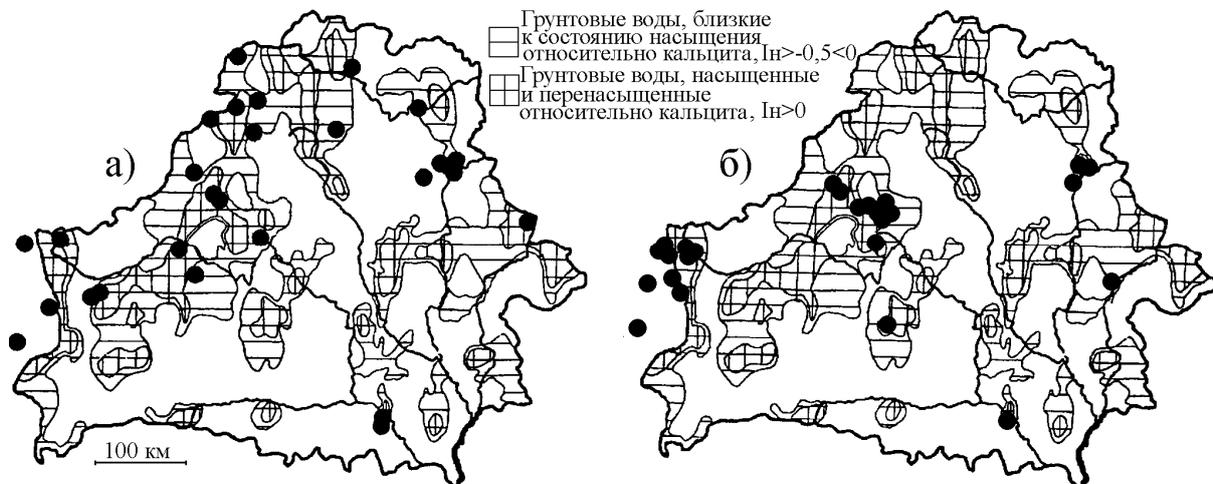


Рисунок 1 – Локализация находок аутигенных карбонатов в почвах (а) и в подпочвенной части моренных и флювиогляциальных отложений (б) на фоне карты-схемы индекса насыщения грунтовых вод относительно кальцита

Аутигенные карбонаты в почвах

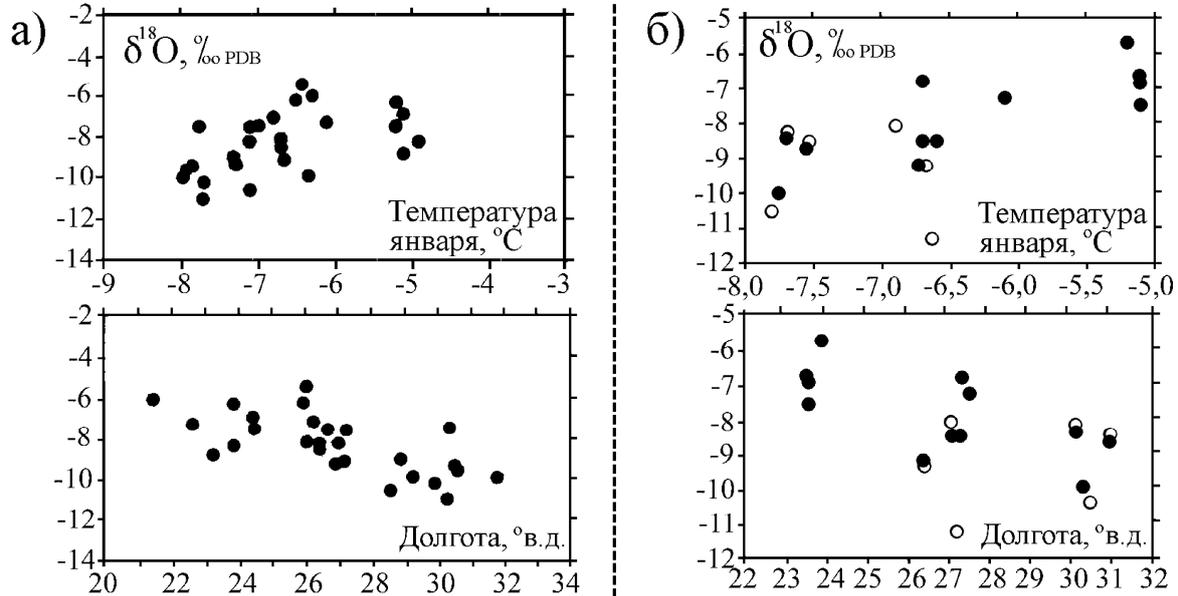
Педогенные карбонаты в Беларуси представлены несколькими морфологическими разновидностями: дисперсным кальцитом; крупными ризоконкрециями (псевдоморфозами по корневым полостям); мелкими ризоконкрециями или чехликами, обволакивающими нитевидные корешки; эллипсоидальными и причудливой формы конкрециями; выполнениями пустот между обломками; кутанами; иногда плотно сцементированными горизонтами (калькретами). Почвенные карбонаты, как правило, локализованы в горизонте В или (в наиболее древних почвах) ниже его. Мелкие ризоконкреции могут присутствовать и за пределами основного горизонта карбонатонакопления, иногда в слое мощностью ~ 80–120 см.

Одной из наиболее информативных типоморфных особенностей педогенных кальцитов является изотопный состав кислорода и углерода. Из рисунка 2 а видно, что осредненные для участков опробования соотношения $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в современных кальцитах коррелируют с температурой января и долготой мест залегания. Таким образом, в изотопном составе кислорода почвенных кальцитов записывается информация о температуре воздуха и степени континентальности климата, и поэтому измерения $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов из погребенных почв (например, в лессово-почвенных сериях) могут использоваться для палеоклиматических реконструкций.

Вместе с тем, несмотря на наличие статистической связи « $\delta^{18}\text{O}$ – климат», в вертикальных профилях горизонтов карбонатонакопления выявлена существенная (но закономерная) изменчивость изотопных величин. В дерново-подзолистой почве, развитой на сожской морене близ пос. Красносельского Волковысского района, зарегистрированы следующие значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в мелких ризоконкрециях: $-7,7$ и $-8,9\text{‰}$ (гл. 130 см); $-4,8$ и $-7,6\text{‰}$ (гл. 140 см); $-7,3$ и $-8,2\text{‰}$ (гл. 150 см); $-7,2$ и $-8,3\text{‰}$ (гл. 160 см); $-7,1$ и $-8,7\text{‰}$ (гл. 168 см); $-7,6$ и $-9,2\text{‰}$ (гл. 173 см). В дерново-подзолистой почве, развитой на поозерской морене близ д. Воропаево Поставского района получены следующие значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$: $-8,0$ и $-8,7\text{‰}$ (гл. 72 см); $-8,6$ и $-10,5\text{‰}$ (гл. 87 см); $-7,9$ и $-8,5\text{‰}$ (гл. 100 см); $-6,5$ и $-7,2\text{‰}$ (гл. 120 см); $-5,5$ и $-6,9\text{‰}$ (гл. 140 см); $-8,1$ и $-8,6\text{‰}$ (гл. 170 см). Максимумы изотопных величин отчетливо при-



урочиваются к определенному глубинному уровню и, по-видимому, связаны с карбонатонакоплением на испарительном фронте наиболее засушливых летних сезонов.



а – современные педогенные карбонаты; *б* – карбонатные конкреции и сцементированные карбонатами прослои из сожских моренных (контурные символы) и флювиогляциальных (закрашенные символы) отложений. Приведены значения, осредненные для участков опробования. Данные по мощным карбонатным конгломератам на рисунке *б* не учтены

Рисунок 2 – Зависимости состава стабильных изотопов кислорода в аутигенных карбонатах Беларуси и соседних частей Польши от средней январской температуры воздуха в пунктах опробования и географической долготы пунктов опробования

Таким образом, вертикальные изотопные профили могут индцировать многолетние характеристики степени испарительной концентрации воды, длительности сохранения талых изотопно-легких вод ($\delta^{18}\text{O}$), темпов корневой респирации и доступности атмосферного воздуха ($\delta^{13}\text{C}$) на разных глубинах в почве и тем самым заменять результаты трудоемких лизиметрических исследований. Как было показано ранее [2], величины $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ имеют существенно более высокие значения в педогенных карбонатах из почв верхних элементов катены, чем из нижних, и могут служить критерием относительного дефицита воды в почвах микроландшафтов.

Аутигенные карбонаты в моренных и флювиогляциальных отложениях

В моренных и флювиогляциальных толщах встречаются эллипсоидальные (с галечным ядром либо без него) и длинные стержневидные конкреции, уплощенные параллельно напластованию тела неправильной геометрии, мощные карбонатные конгломераты.

Есть основания полагать, что конкреции и сцементированные слои формировались в течение длительного времени в теплые (межледниковые) фазы геологической истории. Это подтверждается следующими данными. В крупной длинной стержневидной конкреции, извлеченной с четырехметровой глубины из флювиогляциальных песков, залегающих над мореной близ д. Зайцево Оршанского района, в местности, примыкающей



с юга к границе последнего (поозерского) оледенения, доля изотопа ^{14}C составила 1,05% от современной концентрации в атмосфере, что соответствует возрасту в 37700 л.н. (IGSB-1177). Поэтому вмещающая флювиогляциальная толща не могла накопиться на этапе деградации поозерского ледника и должна быть интерпретирована как образование времени отступления сожского ледникового щита. Таким образом, радиоуглеродное датирование карбонатных конкреций дает основание для решения стратиграфических вопросов в местностях спорного проведения границы последнего ледника.

Из графиков, показанных на рисунке 2 б (см.) следует, что значения $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов из подпочвенной части сожских четвертичных отложений (так же, как и для современных педогенных карбонатов) увеличиваются с повышением современной январской температуры воздуха и в западном направлении. По-видимому, в муравинском межледниковье пространственная изменчивость климатических характеристик и, в частности температурно обусловленных величин $\delta^{18}\text{O}$ в атмосферных осадках в Восточной Европе, была принципиально подобна той, которая существует в настоящее время.

Среднее значение минимальных для шести пунктов опробования величин $\delta^{18}\text{O}$ (т. е., характеризующих наименее контаминированные обломочными карбонатами образования) в конкрециях из морен сожского возраста оказалась равной $-9,2\text{‰PDB}$. Согласно уравнениям зависимости величины $\delta^{18}\text{O}$ от температуры воздуха для Беларуси и прилегающих регионов [13] и температуры минералообразовательного раствора [8], такой кальцит мог осадиться из воды, не испытавшей испарения, при среднегодовой температуре воздуха в $5,5\text{ °C}$ в толще с такой же температурой (т. е. при условиях, аналогичных современным климатическим условиям центральной Беларуси). Несколько более высокая средняя минимальная величина $\delta^{18}\text{O}$ ($-8,5\text{‰}$) зарегистрирована в карбонатных телах из флювиогляциальных отложений (12 пунктов), вместилищ грунтовых вод, что обуславливается большей долей обломочной примеси и/или большей ролью испарения воды в менее глинистых толщах. Установленные величины указывает на то, что типичный минералообразовательный раствор испытал неожиданно незначительное подземное испарение, масштаб которого не может составлять несколько десятков процентов, что находится в определенном противоречии с оценками, выполняемыми методом гидрологического баланса [1]. Тем не менее, наличие значительно более высоких индивидуальных значений $\delta^{18}\text{O}$ в конкрециях из морен (до $-6,0\text{‰}$) и флювиогляциальных отложений (до $-5,3\text{‰}$) во многом обусловлены именно степенью подземного испарения. Мы высказываем предположение о том, что экспресс-оценки этой величины могут осуществляться путем анализа изотопного состава кислорода подземных вод или внешних частей карбонатных конкреций, извлекаемых из керна скважин. Для этих целей в принципе применима теоретическая модель, связывающая изотопный состав кислорода с долей испарившейся воды [7].

Средние минимальные величины $\delta^{13}\text{C}$ ($-9,6$ и $9,1\text{‰}$) в карбонатных образованиях из моренных и флювиогляциальных толщ свидетельствуют о том, что соотношения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в кальцитах (и, следовательно, даже в водах из существенно карбонатных отложений), более близки к равновесию с изотопным составом углерода органического (почвенного) происхождения ($\delta^{13}\text{C}$ в кальците при условии равновесия $\approx -12 - -14\text{‰}$), чем литогенного ($\delta^{13}\text{C}$ кальцита $\approx 0\text{‰}$) и тем более атмосферного ($\delta^{13}\text{C}$ кальцита $\approx +4 - +5\text{‰}$) углерода. Вместе с тем, допустив, что объекты нашего анализа представлены чистой аутигенной фазой и приняв величины $\delta^{13}\text{C}$ при равновесии с литогенным и органогенным углеродом равными 0 и -12‰ соответственно, можем рассчитать, что в типичном аутигенном кальците из морен и флювиогляциальных отложений содер-



жится 20 и 24% атомов углерода, происходящих из аллохтонных морских карбонатов. Учет таких пропорций «мертвого» углерода при радиоуглеродном датировании подземных вод показывает, что нескорректированные даты в 2 200 и 1 800 лет будут соответствовать реальному современному возрасту воды. Точная величина поправки хронологической оценки может быть установлена на основании определения изотопного состава углерода обломочных и аутигенных карбонатов и их весовых долей в конкреции. Аналогичные приемы (выявление пропорции аутигенных и аллотигенных карбонатов и измерение $\delta^{13}\text{C}$ в обеих разностях) могут способствовать решению наиболее сложной методической проблемы, возникающей при расчетах химической денудации, а именно, проблемы расчета доли литогенного иона HCO_3^- в воде карбонатных коллекторов.

Установленное преобладание органического углерода в типичных карбонатных телах из подпочвенной части моренных и водно-ледниковых толщ (80 и 76%) имеет также геоэкологический смысл и свидетельствует о значительных масштабах депонирования углерода органического пула в составе вторичных кальцитовых образований, локализованных на глубинах нескольких метров и даже нескольких десятков метров.

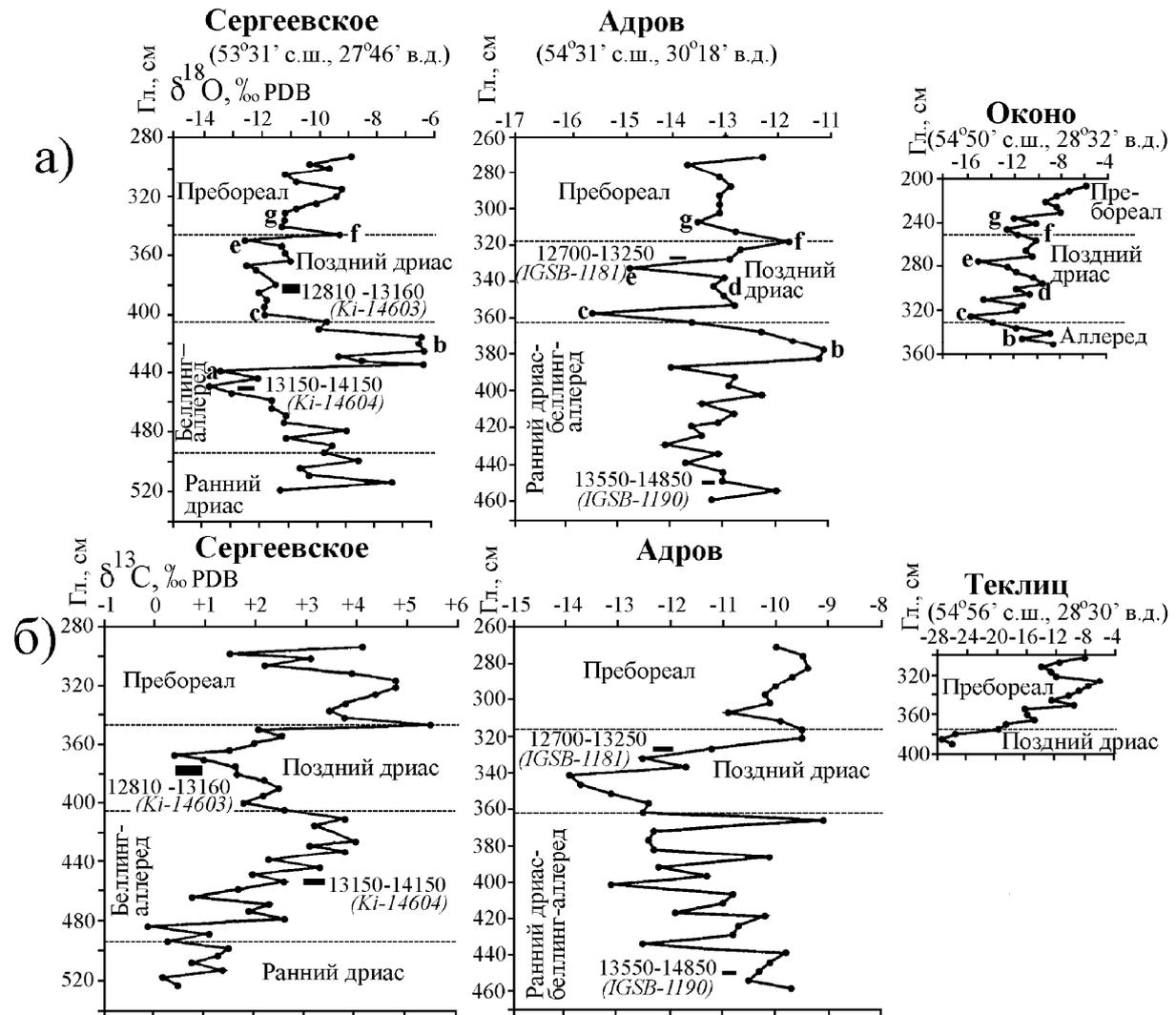
Озерные карбонатные отложения

Как показало нанесение более 160 озер-карбонатнакопителей на карту I_n грунтовых вод относительно кальцита [2], 11% таких озер расположено в ареалах грунтовых вод, насыщенных и перенасыщенных относительно кальцита; больше половины (51,9%) – на площади распространения грунтовых вод, I_n которых по рассматриваемому минералу характеризуется величинами $> -0,5$; и только 12,6 % – там, где I_n ниже $-1,0$. Месторождения пресноводных карбонатных отложений, перекрытых современными торфяниками и пойменными накоплениями, демонстрируют еще более тесную связь с ареалами карбонатных грунтовых вод. Пятая часть (21,4% из 145) таких месторождений находится в ареалах $I_n > 0$, а 63,5% месторождений – в ареалах $I_n > -0,5$. Поэтому неизвестные залежи озерного мела, мергеля, карбонатного сапропеля с наибольшей вероятностью могут быть обнаружены в ареалах высоких значений I_n .

На примере особенно чистых от обломочной компоненты кальцитов, найденных на нескольких глубинных интервалах в ряде залежей, охарактеризована макро- и микроэлементная специализация аутигенных фаз. В карбонатных осадках без очевидной примеси окислов железа ($n = 38$, 4 месторождения) и в железистых разностях ($n=11$, 4 месторождения) в среднем содержится: 0,38 и 1,02% SiO_2 ; 0,31 и 0,26% Al_2O_3 ; 51,1 и 46,4% CaO ; 2,54 и 2,30% MgO ; 0,61 и 5,0% Fe_2O_3 ; 0,07 и 0,57% MnO ; 0,18 и 0,36% P_2O_5 ; 0,25 и 0,25% S; 5,0 и 7,4 г/т Ni; 28 и 26 г/т Zr; 5 и 6 г/т Cu; 230 и 225 г/т Sr; 268 и 305 г/т Ba. Аутигенные кальциты содержат в определяемых количествах только несколько микроэлементов: $\text{Ba} > \text{Sr} \gg \text{Zr} > \text{Cu} \sim \text{Ni}$. Железистым разностям присущи несколько повышенные количества MnO, P_2O_5 , Ni, Ba. Приведенные цифры показывают, какие химические элементы наиболее активно выводятся из воды озер-карбонатнакопителей, а также могут поступать в жидкую фазу из озерных карбонатов в случае их использования для известкования почв, создания защитного барьера на дне гиперэвтрофных озер либо в качестве кормовых добавок. Кроме этого, химический состав древних озерных кальцитов может служить тем эталоном, с которым целесообразно сравнивать кальцитовые продукты щелочного геохимического барьера, локализованные в местах техногенного воздействия.



В настоящей работе основное внимание уделено рассмотрению соотношений $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. В нескольких разрезах нам удалось увидеть конфигурацию изотопно-кислородных кривых позднеледниковых этапов (рисунок 3 а). В разрезе Сергеевское видимый по особенностям пыльцевых спектров (данные В.П. Зерницкой) горизонт беллинга-аллереда залегает в диапазоне глубин 400–495 см. В его нижней части (430–495 см) относительно мала доля трав (~5%), что говорит о теплом и/или влажном климате.



Наиболее примечательные изотопно-кислородные события обозначены буквами *a-g*. Радиоуглеродные датировки выполнены по органической фракции в разрезе Сергеевское и по карбонатной фракции в разрезе Адров. Возраст выражен в календарных годах

Рисунок 3 – Изотопно-кислородные (а) и изотопно-углеродные (б) кривые, полученные по кальциту позднеледниковых карбонатных озерных отложений Беларуси

Негативный изотопно-кислородный пик *a* может быть соотнесен с кратковременной холодной и, вероятно, влажной фазой среднего дриаса, разделяющей беллинг и аллеред.



В пределах изотопного пика *a* регистрируются неотчетливо выраженные палинологические признаки похолодания (малые “вспышки” *Betula s. fruticosae*, *Selaginella selaginoides*, *Artemisia*, *Betula*, единичные зерна *Picea*). Изотопно-кислородное событие *b* соответствует аллереду. Весьма высокие величины $\delta^{18}\text{O}$, а также пониженные соотношения *Pinus/Betula* и значительная доля *Artemisia* в разрезе Сергеевское указывают на то, что аллередское потепление было относительно аридной климатической фазой. Повидимому, поэтому в отличие от гренландских изотопно-кислородных кривых [19] в нашей изотопной записи аллеред выражен более четко, чем беллинг. Аллередский пик *b* имеет аналог в разрезе Адров.

Позднедриасовый стадиал представлен в Сергеевском широким зубцом с началом в пике *c* и концом в пике *e*. В пределах зубца в палинологических спектрах отмечена максимальная доля трав (до 30%), явный пик *Picea*, постоянное присутствие *Betula s. fruticosae* (до 3,3%) и относительно повышенное соотношение *Pinus/Betula*. В Адрове и Оконо стадиал отражен двумя «холодными» пиками, разделенными более теплым интервалом. Как было замечено ранее [2], пики *c*, *d*, *e*, *f*, *g* имеют соответствия в ряде надежно датированных европейских кривых: GRIP (Гренландский ледник); озерные залежи Хоус Уотерс (Англия), Аммерзее (Германия), Лейсин (Швейцария), Гостенж (Польша). Было высказано предположение о том, что названные пики отражают климатические события, происходившие синхронно в Западной Европе и Польше, с одной стороны, и в Беларуси, с другой стороны. По крайней мере, позднедриасовое похолодание в Беларуси не могло начаться ранее его предпосылки (выброса воды американских приледниковых озер в Атлантический океан). Четкость изотопно-кислородных границ белорусского позднего дриаса дает возможность путем совмещения с кривыми идеально датированных разрезов выделить хроностратиграфические реперы начала и конца позднего дриаса (~12750 – 11500 кал. л.н.), т. е. сместить традиционные хронологические оценки (~12950 – 11950 кал. л.н.) в сторону более молодых дат.

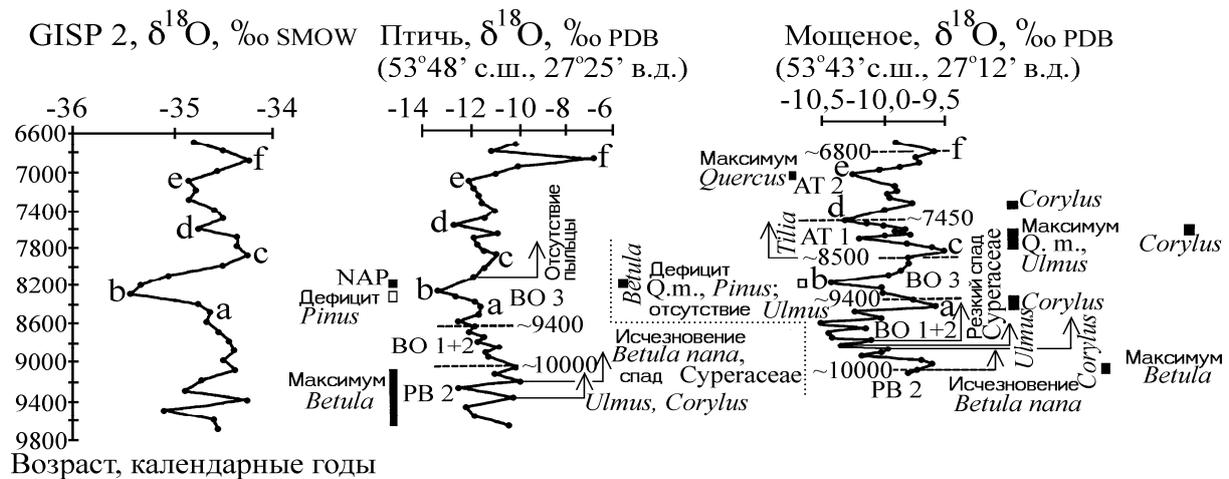
Переход от позднеледниковья к голоцену маркируется также квазисинхронным в пределах Беларуси изотопно-углеродным событием: в Сергеевском, Адрове и Теклиц видны сильные сдвиги от минимальных (для индивидуальных разрезов) значений $\delta^{13}\text{C}$ к максимальным или почти максимальным (рисунок 3 б). Вероятно, в конце позднего дриаса или на границе позднего дриаса и пребореала в связи с деградацией вечной мерзлоты увеличился подземный дренаж, и проточность водоемов резко снизилась.

Изучение озерных карбонатов, накопившихся в раннем и в начале среднего голоцена, позволило высказать предположение о том, что в это время динамика климата Беларуси регулировалась механизмами континентального масштаба. Такая гипотеза основана на подобии изотопно-кислородных кривых, полученных по белорусским залежам и по воде Гренландского ледника (рисунок 4). Совмещение кривых оказывается возможным при допущении удревненности хронологических границ раннего голоцена (как в конкретных обсуждаемых разрезах, так и в традиционной белорусской региональной хронологической схеме). Приведенный график также иллюстрирует возможность проверки синхронности-асинхронности палинологических событий, выявленных в соседних разрезах.

Специальный интерес представляет изотопно-геохимическая характеристика наиболее молодых осадков, в особенностях которых могут быть записаны свидетельства антропогенно-обусловленной деградации ландшафтов и озерных систем. Так, в залежи озера Нарочь от глубины 70 см до поверхности осадка наблюдается в целом выдержанный тренд (14 проб) понижения величины $\delta^{18}\text{O}$ от ~ -1‰ (осаждение из воды, испыты-



вающей сильное испарение) до -10 – $-11,5\%$, минимального для всего разреза значения (осаждение в условиях равновесия с $\delta^{18}\text{O}$ неиспаряющейся воды), и тренд понижения величины $\delta^{13}\text{C}$ от $\sim +4\%$ на гл. 80 см до $-0,5\%$ у поверхности (существенное нарушение равновесия с изотопным составом углерода атмосферного углекислого газа). В осадках Сергеевского озера в диапазоне глубин 75 – 25 см (10 проб) величина $\delta^{18}\text{O}$ уменьшается от ~ -4 до -8% , а величина $\delta^{13}\text{C}$ от $\sim +5,5$ до $\sim -2\%$ (минимум для всего разреза). Сходные тенденции, выявленные в осадках германских озер Арендзее и Балдегерзее [18; 20], объясняются значительным расширением сезона «цветения» воды в связи с ускоренным антропогенным эвтрофированием.



Изотопные данные по гренландской скважине [19] осреднены по 100-летним интервалам. Основные изотопно-кислородные события обозначены буквами *a-f*. Временные границы в Птичи и Мощеном приведены в соответствии с исходными хронологическими моделями, основанными на пыльцевом зонировании (материалы В.П. Зерницкой) и радиоуглеродных датировках. Затусшеванными прямоугольниками обозначены пики, а контурными прямоугольниками – участки дефицита некоторых пыльцевых таксонов. Изотопно-кислородный пик *b* интерпретируется как широко известное «холодное событие 8200 календарных лет назад». Ему соответствуют палинологические события, которые могут быть связанными с холодным эпизодом. В Мощеном положительные пики $\delta^{18}\text{O}$ (кратковременные относительно теплые фазы) соответствуют пикам *Corylus*, а максимум *Quercetum mixtum* наблюдается сразу после изотопно-кислородного события *c* (начала климатического оптимума)

Рисунок 4 – Предположительная корреляция между ранне-среднеголоценовыми отрезками изотопно-кислородных кривых скважины GISP 2 (вода гренландского ледника) и белорусских разрезов Птичь и Мощеное (озерный кальцит)

Выводы

На основании выявленной пространственной изменчивости индекса насыщения грунтовых вод Беларуси относительно кальцита возможно оценивать карбонатность покровных четвертичных отложений, выявлять места карбонатного засоления почв, участки кальцитовой цементации моренных и водно-ледниковых отложений, неизвестные залежи карбонатных озерных осадков, локализацию щелочного геохимического барьера в зоне гипергенеза, ареалы ландшафтов, наиболее толерантных к кислотным атмосферным выпадениям.



В вариациях величин $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ нескольких разностей аутигенных кальцитов (локализованных в почве, подпочвенной части моренных и флювиогляциальных отложений, озерных залежах) записаны особенности условий и среды их образования: температура воздуха, влажность климата, степень проточности озер, величина испарения минералообразовательного раствора и доля литогенного углерода в составе его гидрокарбонат-иона.

Измерения концентрации изотопа ^{14}C в конкрециях из подпочвенной части толщ дают возможность различать поозерские и сожские вмещающие ледниковые и водноледниковые отложения.

По изотопной специализации педогенного кальцита возможно оценивать гидрологический режим на разных глубинах в почвенном профиле и изменчивость влагообеспеченности почв в микроландшафтах; восстанавливать динамику климата прошлого (в частности по карбонатам датированных погребенных почв).

Изотопно-кислородные и изотопно-углеродные кривые, полученные по озерным толщам, позволяют распознавать палеоклиматические и палеогеографические события познеледниковья-голоцена Беларуси (средне-дриасовое и позднее-дриасовое похолодания, потепление в аллереде, холодное событие 8200 кал. л.н. и др.), выделять хронологические реперы путем сопоставления с известными идеально датированными изотопно-кислородными профилями Европы, осуществлять корреляцию разрезов на локальном, региональном и надрегиональном уровнях, регистрировать явления антропогенной деградации озер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жогло, В.Г. Закономерности формирования подземных вод верхнего этажа гидrolитосферы в условиях техногенеза (на примере юго-востока Беларуси) : автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук / В.Г. Жогло. – Минск, 2002. – 40 с.
2. Махнач, Н.А. Аутигенные карбонатные минералы в четвертичных отложениях Беларуси / Н.А. Махнач. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 215 с.
3. Махнач, Н.А. Пространственное распределение показателя насыщенности грунтовых вод Беларуси по кальциту / Н.А. Махнач, Л.Ф. Гулис // ДАН Беларуси. – 1997. – Т. 41, № 2. – С. 114–118.
4. Перельман, А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М. : Высшая школа, 1989. – 528 с.
5. Шварцев, С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. – М. : Недра, 1978. – 278 с.
6. Cerling, T.E. Stable carbon and oxygen isotopes in soil carbonates / T.E. Cerling, J. Quade // P.K. Swart, K. C. Lohmann, J. McKenzie, S. Savin (eds). – Climate Change in Continental Isotopic Records. Geophys. Monograph 78, 1993. – P. 217–231.
7. Gilath, C. Lake dynamics / C. Gilath, R. Gonfiantini // Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology., Tech. Rep. – Ser. 91, Int. Atomic Energy Agency, Vienna, 1983. – P. 129–161.
8. Hays, P.D. Oxygen isotopes in meteoric calcite cements as indicators of continental palaeoclimate / P.D. Hays, F.I. Grossman // Geology. – 1991. – V. 19. – P. 441–444.
9. Khokhlova, O.S. Records of climatic changes in the carbonate profiles of Russian Chernozems / O.S. Khokhlova [et al.] // Catena. – 2001. – V. 43. – P. 203–215.
10. Landi, A. Origin and rate of pedogenic carbonate accumulation in Saskatchewan soils, Canada / A. Landi [et al.] // Geoderma. – 2003. – V. 117. – P. 143–156.



11. Leng, M.J. Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives / M.J. Leng, J.D. Marshall // *Quaternary Science Reviews*. – 2004. – V. 23. – P. 811–831.
12. Lowe, J.J. Inter-regional correlation of palaeoclimatic records for the Last Glacial-Interglacial Transition: a protocol for improved precision recommended by INTIMATE project group / J.J. Lowe [et al.] // *Quaternary Science Reviews*. – 2001. – V. 20. – P. 1175–1187.
13. Makhnach, N. Stable oxygen and carbon isotopes in Late Glacial-Holocene fresh-water carbonates from Belarus and their palaeoclimatic implications / N. Makhnach [et al.] // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2004. – V. 209. – P. 73–101.
14. Nordt, L.C. Quantifying pedogenic carbonate accumulation using stable carbon isotopes / L.C. Nordt [et al.] // *Geoderma*. – 1998. – V. 82. – Is. 1–3. – P. 115–136.
15. Perkins, E.H. Geochemical modeling of water-rock interactions using SOLMINEQ-88 / E.H. Perkins [et al.] // *ACS Symposium Series*. – 1990. – № 416. – P. 117–127.
16. Pustovoytov, K.E. Pedogenic carbonate cutans on clasts in soils as a record of history of grassland ecosystems / K.E. Pustovoytov // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2002. – V. 177. – P. 199–214.
17. Quade, J. The stable isotope composition of early ground-water cements from sandstone in palaeoecological reconstruction / J. Quade, L.J. Roe // *Journal of Sedimentary Research*. – 1999. – V. 69, № 3. – P. 667–674.
18. Stuben, D. Application of lake marls at Lake Arendsee, NE Germany: First results of a geochemical monitoring during the restoration experiment / D. Stuben [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 1998. – № 218. – P. 33–44.
19. Stuiver, M. The GISP2 d18O climate record of the past 16.500 years and the role of the sun, ocean and volcanoes / M. Stuiver [et al.] // *Quaternary Research*. – 1995. – V. 44. – P. 341–354.
20. Teranes, J.L. Stable isotope response to lake eutrophication: Calibration of a high-resolution lacustrine sequence from Baldeggersee, Switzerland / J.L. Teranes [et al.] // *Limnol. Oceanogr.* – 1999. – V. 44. – P. 320–333.

N.A. Makhnach. Lithogenetic Results of the «Water-Carbonate Minerals» Interaction in Quaternary Deposits in Belarus (Palaeogeographic, Chronostratigraphic, Geoenvironmental and Practical Implications of the Investigation)

The connection between the degree of ground water saturation with respect to calcite controls Quaternary authigenic carbonates location is determined. The $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in calcites of some genetic varieties are interpreted. On this basis, calcites investigation potential for indication of past climate changes, as well as of lake, soil, and ground water hydrological regimes is characterized; several Late Glacial – Holocene palaeogeographical events are recognized; markers of carbonate sediments chronostratigraphic belonging are revealed; trends of anthropogenic degradation of lakes are registered. The possibilities of practical application of the study results are discussed.



УДК 338.48(091)

Е.Н. Мешечко, Д.В. Никитюк

РАЗВИТИЕ ТУРИСТСКО-ЭКСКУРСИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ В 20-30 ГГ. XX ВЕКА

В статье раскрыта туристско-экскурсионная деятельность на территории Брестской области в 20–30 гг. XX века, когда эта территория входила в состав Польши. Учитывая социально-экономическую отсталость Полесского воеводства, туризм базировался на природных, исторических и природно-культурных объектах. Особой популярностью пользовались водные объекты (реки, озера), болота, охраняемые территории (резерваты, Национальный парк «Беловежская пуца». Дана характеристика наиболее популярных в Полесье видов туризма: водного, экскурсионного, спортивного, рекреационно-оздоровительного и др., основанных на природных ресурсах полесских ландшафтов.

*Полешуки народ скромный, но с чувством собственного достоинства,
с пониманием того, что там где они в давидгородских сапогах
пройдут как у себя в доме, то поляки даже
в самых лучших краковских сапогах не смогут.
И как теперь полешукам гостей приглашать,
ну уж они не хотели, не хотят и наверняка не захотят, а зря...
Николай Валентовский*

Введение

В настоящее время туристско-рекреационная деятельность на территории Республики Беларусь приобретает важное значение в хозяйственном комплексе. Территория Брестской области отличается значительным туристско-рекреационным потенциалом. Здесь расположены уникальные для Европы природные ландшафты, многочисленные архитектурно-парковые комплексы, исторические и культовые сооружения. Современная сеть туристско-экскурсионных объектов и соответствующая инфраструктура складывалась в течение XVIII–XIX веков. Многие из природных и культурно-исторических объектов и территорий могут быть эффективно включены в рекреационно-туристскую сферу.

На основании архивных и литературных источников рассмотрена туристско-рекреационная деятельность на территории нынешней Брестской области в 20–30-е гг. XX века, когда эта территория входила в состав Польши.

Полесский регион в силу недостаточного экономического развития и почти полным отсутствием инфраструктуры (транспортно-коммуникационного комплекса) выступал в качестве формирования специфического туристского предложения. В связи с этим в регионе получил развитие туризм, основанный на использовании природных объектов и историко-культурных достопримечательностей. Ключевыми видами туризма являлись приключенческие путешествия и природно-краеведческий. Потребителями туристского продукта являлась наиболее активная неприспособленная к уровню сервиса часть населения: учащиеся, ученые-исследователи и любители уединенного отдыха «вдали от цивилизации». В качестве транспортных магистралей использовались реки Припять, Щара, Горынь, Ясельда, а также Огинский и Королевский каналы. Важней-



шими туристскими узлами для водных туристов были Пинск, Брест, Городище, Давид-Городок и др.

Рекреационная деятельность на территории Полесского воеводства осуществлялась также в рамках организации летних детских лагерей.

Развитие туристско-рекреационной деятельности

Туристская система, функционирующая в настоящее время на территории Брестской области, складывалась в течение XIX–XX веков, а основы современной системы формировались в 20–30-е годы XX века. На протяжении 20-30-х годов XX века часть территории Брестской области находилась в составе Полесского воеводства Польши. Туризм в Полесском воеводстве базировался на природных, исторических и природно-культурных (историко-культурных, архитектурных, инженерно-исторических) туристских объектах. Многие объекты, представляющие значительный интерес в 20–30-е годы в настоящее время перешли в перечень ключевых, определяющих современную специализацию туристских районов Брестской области.

Важное значение для стратегии развития туризма в Полесском и Волынском воеводствах в 1930-е годы имели съезды, научные конференции. Так, на съезде, проходившем в Пинске 5–6 июня 1936 года, на территории Польши были выделены два ключевых туристских региона, отличающихся видовым разнообразием туристской деятельности и различиями в формировании туристских потоков внутри государства. «Западный регион» характеризовался развитием классического туризма («золотого туризма»), ориентированного на массового потребителя с развитыми звеньями туристско-рекреационной системы, в составе которого были выделены сформировавшиеся туристские районы: Карпатско-Судетский, Приморский, Краковский, Варшавский, Поозерский (Мазурский). Видовой состав туристских предложений характеризовался большим разнообразием горнолыжного, пляжного, санаторно-курортного, экскурсионно-познавательного и прочих видов туризма. Данный регион выступал в качестве самостоятельного в отношении формирования спроса и предложения на туристский продукт. Второй регион – «Восточный» – регион в состоянии стагнации, в котором туристская деятельность находилась в состоянии зарождения. В «восточном» регионе туризм не представлял взаимосвязанную и взаимообусловленную систему взаимодействующих систем. В состав региона входили Волынское, Полесское и Новогрудское воеводства. Регион не представлял интереса с точки зрения развития классического туризма, и поэтому ключевыми видами туризма, которые могли получить развитие, являлись приключенческие путешествия и туризм, основанный на водных ресурсах (сплавы на байдарках и каяках, прогулки на небольших речных судах), а также природно-краеведческий туризм. Регион в силу недостаточного экономического развития не мог самостоятельно формировать туристский спрос, а выступал в качестве региона формирования специфического туристского предложения. Направление туристских потоков осуществлялось преимущественно с запада на восток. Потребителями туристского продукта являлась наиболее активная и неприспособленная к уровню сервиса часть населения: учащиеся, ученые-исследователи и любители уединенного отдыха «вдали от цивилизации». Данный состав туристов отличался своеобразной психологией поведения: для них была свойственна неутомимость к познанию и жажда открытий нового, основанного на желании преодоления существующих препятствий.



Для решения проблем развития туризма в Полесском и Волынском воеводствах на съезде была представлена программа, включающая в себя совокупность мероприятий, реализация которых способствовала бы активизации туристского потенциала региона. Активизация туристской деятельности должна была осуществляться по следующим направлениям:

1. Создание и оптимизация транспортно-коммуникационного комплекса.
2. Организация туристско-рекреационных территорий.
3. Активизация научно-исследовательской деятельности со стороны ученых.
4. Активизация краеведческой деятельности среди учащейся молодежи и энтузиастов-краеведов.
5. Пропаганда туризма на Полесье в научной литературе, в газетах и журналах, а также путем издания специализированной литературы о регионе, подготовка туристских буклетов и путеводителей.
6. Увеличение туристских потоков с западных воеводств за счет удешевления стоимости туристских поездок.
7. Организация соревнований и акций для популяризации водных видов туризма.
8. Создание филиалов общественных и государственных организаций имеющих отношение к туристской деятельности на территории Полесского воеводства [1; 5].

Созданием научного обоснования для развития определенных видов туризма и пропаганды знаний о регионе осуществлялось путем подготовки описаний достопримечательностей, маршрутов и потенциальных ресурсов региона в научно-популярной и специализированной туристской литературе занимались многие ученые (Виктор Мондальский, Людвиг Гродницкий, Николай Валентовский, Михаил Марчак и др.)

«Полесские джунгли», «первозданная Европа» – так называли Полесское воеводство за нетронутую, девственную и во многом экзотическую природу [2]. Природа Полесья представляла значительный интерес для жителей Польши. В связи с этим в исследованиях полесского края важная роль принадлежала ученым различных специальностей (биологи, географы, геологи, гидрологи и др.). Пионерные исследования положили начало не только хозяйственному освоению территории Полесья, но и послужили предпосылкой включения в список природных туристских объектов уникальных или наиболее типичных ландшафтов и отдельных растительных сообществ региона. В качестве наиболее интересных ландшафтов предлагалось использовать болотные массивы, которые в сочетании с пущами представляли уникальные объекты познавательного туризма. В пределах Полесья популярностью пользовались следующие болотные массивы: Гричинское, Гало, Ясень, Дикий Никор. Особой привлекательностью пользовались озерно-болотные и озерно-аллювиальные ландшафты Полесья (озера Погост, Выгонощанское, Ореховское, Бобровичское, Белое (Коссовский повет)). На Полесье существовала целая сеть охраняемых территорий. Кроме Беловежской пуши, на территории Полесского воеводства были созданы многие резерваты для охраны речного бобра (*Castor liber L.*) на реке Жегулянке (775 га), лося (*Alces alces L.*) в Ивацевичской ординации, азалии понтийской (*Azalea pontica*), в Карпиловце (30 га) и в Сновидовичах (23 га), водяного ореха (*Trapa natans L.*) на озере Погост. Для сохранения видового разнообразия ландшафтов был создан ландшафтный резерват «Парк Природы» (находился в Давидгородокской ординации, южнее Припяти между р. Горынь и польско-российской границей) [2; 3; 10].



Все вышеперечисленные природные территории в сочетании с историко-культурными объектами создавали основу системы туристско-экскурсионных маршрутов. Перечень основных населенных пунктов, которые выступали в качестве «мостов» на пути к природным и природно-культурным объектам приведен в таблице 1.

Кроме использования природных ресурсов в познавательных маршрутах возникла необходимость строительства санаториев и частных (дачных) поселков. На территории Полесского воеводства планировалось создание трех зон (рисунок 2): Белоозерская (Коссовский повет), Пинская (Пинский повет), Прибугская (Брестский повет) – Томашовка, Орхово, Домачево, Дубица, Олтуш, Малорита, Колпин. Планировалось использовать рекреационный ресурс озер Пища, Свитязь, Рогознянское, Медное [1; 3].

Таблица 1 – Наиболее привлекательные природные и природно-культурные объекты Полесского воеводства

Повет	Населенный пункт	Природный (природно-культурный) объект
Коссовский	Спорово	Озеро Споровское
	Старые Пески	Озеро Черное, резерват на р. Жегулянке (охрана речного бобра)
	Ружаны	Ружанские леса («сухая» пуца)
	Ивацевичи	Река Гривда – резерват по охране лося, речного бобра
	Станевичи	Центр осушения болот, своеобразные ландшафты
	Св. Вода	Болотный массив Погонь
Дрогичинский	Глинна	Уникальные сохраненные ландшафты на берегах Королевского канала
	Одрижин	Озеро Песчаное
Кобринский	Дивин	Типичные полесские ландшафты
Пружанский	Красник	Беловежская пуца
Лунинецкий	Ленин	Гричинское болото
	Ганцевичи	Болото Ясень
	Луц	Гричинское болото
Столинский	Погост-Загородский	Резерват по охране водяного ореха
	Нобель	Озеро Нобель
	Старые Кони	Типичные полесские ландшафты, лесное озеро

Важнейшими историко-культурными объектами, которые использовались в туристской деятельности выступали достопримечательности различных эпох: религиозно-культурные сооружения (церкви, костелы, монастыри, каплицы, кладбища, курганы), замки, поместья, усадьбы, имения, связанные с жизнью либо принадлежавшие выдающимся людям и династиям. Перечень историко-культурных достопримечательностей, выступающих в роли объектов туризма, представлен в таблице 2 [3].



Таблица 2 – Историко-культурные достопримечательности Полесского воеводства

Повет	Населенный пункт	Историко-культурная достопримечательность
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Брестский	Брест	Брестская крепость, историческая застройка города
	Скоки	Усадьба и место рождения Юл. Урсын-Немцевича
	Высоко-Литовск	Историческая застройка города, костел 1603 г., руины замка Сапегов, родовой замок Потоцких, каплица св. Варвары (1772 г.)
	Шестаково	Место рождения Р. Травгутта
	Рясна	Костел Марьянов (1744 г.), построен Е. Матусевичем
	Волчин	Место рождения Короля Станислава Августа Понятовского. Каплица и костел наполеоновского времени.
	Вистычи	Костел (1678 г.), построенный Е. Тышкевичем.
	Чернавчицы	Костел (1585 г.), построенный Н. Радзивилом.
Каменец	Историческая застройка города	
Кобринский	Кобрин	Деревянная церковь с древними иконами, базилианский костел, двор Травгутта
	Сехновичи	«Лабиринт» Т. Костюшко
	Крупчицы	Руины костела Кармелитов, место сражения войск Сераковского и Суворова
	Остров	Место жизни Р. Травгутта
	Буховичи	Доминиканский «Белый костел» (1674 г.), построенный К. Пухалским
	Городец	Имение полесской писательницы М. Радзевич
	Грушево	Монастырь базилианов (1718 г.)
	Бульково	Униатская церковь – 1794 г. Курганы времен русско-польской войны
Пружанский	Пружаны	Этнографический центр и центр ремесел
	Шерешево	Церковь униатская (1762 г.), костел (1862 г.)
	Долгое	Имение Крашевских
	Красник	Усадьба Ф. Карпинского
	Мокрое	Место жизнедеятельности Земниковича
	Береза-Картузская	Монастырь и церковь (1648 г.), заложены Л. Сапегой. Место русско-польских сражений.
	Селец	Костел, построенный королевой Боной (1471 г.)



Продолжение таблицы 2

1	2	3
Коссовский	Коссово	Костел 1878 г.
	Меречёвщина	Место рождения Т. Костюшко. Замок Пусловских
	Спорово	Имение Краситских. Униатская церковь
	Заберж	До 1706 г. замок Вишневецких
	Пески	Имение Пусловских
	Гоцево	Монастырь доминиканцев, заложенный Н. Тышкевичем. Кладбище 1692 г.
	Ивацевичи	Костел (1750 г.), построенный Голуховским
	Ружаны	Руины резиденции Сапегов. Костел 1595 г. (Тышкевичи/Сапеге)
	Святая Воля	Церковь 1794 г., построенная гетманом Огинским.
	Телеханы	Замок Огинских. Костел Пусловских (1817 г.). Фабрика фаянса
Пинский	Пинск	Музей Полесья, кафедральный собор (1396 г.), построенный З. Кейстутовичем, Коллегиум иезуитов (1631 г.), построенный Ст. Радзивилом, костел доминиканцев, каплица, построенная королевой Боной, духовная семинария и др.
	Кристинов	Имение Бутримовичей
	Городище	Костел (1662 г.) К. Копча. В окрестностях фольварок Твардовка имение Твардовских
	Погост Загородский	Деревня пинских иезуитов. Иезуитский костел и каплица
	Стошаны	Костел
	Поречье	Замок Скимунтов. Костел и церковь
	Невель	Униатская церковь (XVIII в.), построенная Коженецким
	Ст. Кони	Униатская церковь (1790 г.), построенная М. Бутримовичем
Камень-Каширский	Камень-Каширский	Костел доминиканцев (1628 г.), руины замка Сангушков
	Кочин	Руины замка Буховетских (XVI в.)
	Пневно	Обелиск – древний пограничный столб ме- жду Речью Посполитой и ВКЛ
	Любешов	Коллегиум (XVI в.) – место, где учился Т. Костюшко (1756-1759 гг.), костел и монастырь капуцинов
Столинский	Столин	Костел 1817 г.
	Маньковичи	Резиденция Радзивилов (IXX в.)



Окончание таблицы 2

1	2	3
	Городная	Центр ремесел, фабрика керамики Огинского
	Колодно	Кладбище повстанцев 1863 г.
	Давид-Городок	Руины костела Радзивилов
	Высоцк	Замок Домбровецкого (XV в.)
Лунинецкий	Лунинец	Историческая застройка города
	Ляхва	Костел (XVII в.), построенный Радзивилами
	Кожан-Городок	Населенный пункт (курган) упоминается у римского поэта Овидиуса
	Денисковичи	Библиотека Верниковского из рода Янинов
Дрогичинский	Дрогичин	Доминиканское имение-монастырь
	Перковичи	Имение Вислоухов, церковь К. Терлецкого
	Тороконье	Базилианский монастырь (XVIII в.)
	Закозель	Имение Ожешко
	Хомск	Имение Пусловских
	Иваново	Место мученической смерти бл. Андрея Боболи
	Молодово	Имение Скирмунтов. Исторические постройки XVI века.
	Одрижин	Церковь униатская XVII в., икона – подарок Ст. Авг. Понятовского
Горки	Кладбище времен восстания 1863 г.	

В 20–30-е гг. XX века на территории Польши значительным интересом пользовались туристские маршруты, связанные с местами событий восстания 1863 г. На территории Полесского воеводства их находилось большое количество: Борки, Пружаны, Березовое болото, Смолярка (Пружанский повет), Черск, Домачево, Мокраны, Речица (Брестский повет), Гута, Меречевщина, Михалин, Ружаны (Коссовский повет), Колодно (Столинский повет), Королевский мост (вблизи Брестского повета) [6].

Важнейшей причиной, затрудняющей развитие экономики и туризма в Полесском воеводстве, являлась неразвитость транспортно-коммуникационного комплекса. В качестве негативных показателей, препятствующих развитию туризма, выступали: незначительная густота и протяженность шоссейных дорог с твердым покрытием (рисунк 1). В Полесском воеводстве протяженность дорог с твердым покрытием составляла всего 710 км, а в Пинском, Лунинецком и Столинском поветах дороги с твердым покрытием отсутствовали. Низкий уровень развития транспортной сети Полесья осложнялся сезонностью эксплуатации многих грунтовых дорог, что связано было с продолжительными половодьями и паводками на реках Полесья, затопляющих значительные площади. К причинам, оказывающим негативное влияние на строительство дорог, относилась также большая болотистость территории, что в свою очередь сдерживало эксплуатацию существующих, а также строительство новых участков дорожной сети. Железные дороги для территории Полесского воеводства играли важную роль, но не являлись полноценным связующим элементом во внутригосударственных



и межгосударственных коммуникациях, что было связано с разной шириной колеи, а также с их незначительной протяженностью. Протяженность дорог европейской («нормальной») колеи составляла – 770 км, а узкоколейных – 220 км. Ограничением в использования железных дорог в туристских целях являлось также несогласованность в отправлении и прибытии поездов по ключевым направлениям туристских маршрутов. Общим недостатком функционирования туристско-экскурсионных маршрутов являлись большие временные затраты на посещения туристских объектов. В качестве примера значительных временных затрат может служить маршрут Горынь – Лунинец – Брест. При прохождении маршрута туристам по прибытию из деревни Горынь в Лунинец необходимо было ждать поезд в направлении Бреста в течение 5 часов 35 минут, что обусловило незначительный спрос на данный туристский маршрут [1; 2; 7].

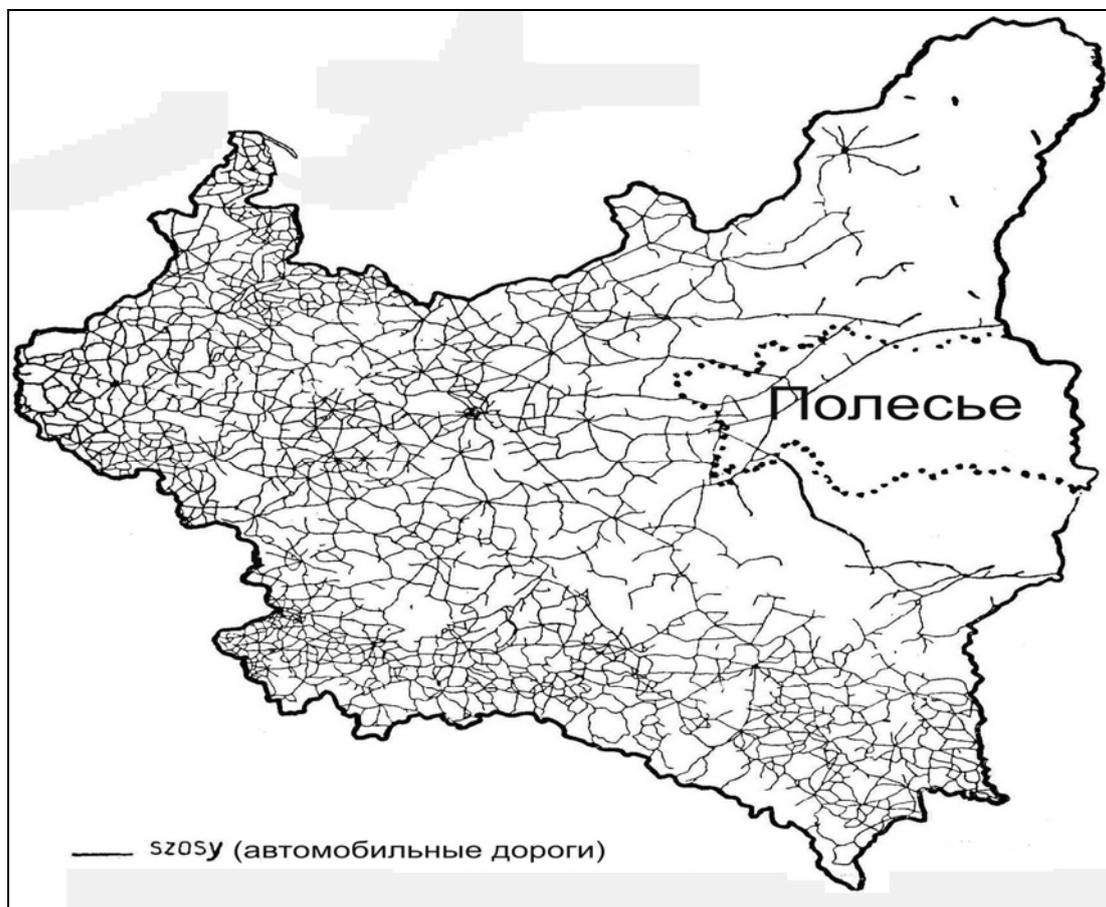


Рисунок 1 – Обеспеченность шоссейными дорогами с твердым покрытием в Польше на Полесье (1935 г.)

Водные магистрали (Припять, Ясельда, Горынь и Стырь), а также Королевский и Огинский каналы в связи с незначительным количеством речных пассажирских судов имели важное значение лишь для перевозки грузов внутри воеводства. Водные пути выступали в качестве осей, вокруг которых концентрировались различные населенные пункты и туристские объекты. Они связывали ключевые туристские дестинации Брестского, Пинского, Столинского поветов, то есть именно те поветы, в которых отсутствовали дороги с твердым покрытием. Водные пути, кроме транспортной функции, пред-



ставляли интерес как историко-инженерные объекты познавательного туризма, а также использовались для спортивного туризма (байдарочного, каячного и др.).

Лимитирующим фактором использования водных путей для развития туризма являлась сезонность гидрологических явлений, проявляющаяся в затоплении прилегающих территорий, либо обмелении русел в межень. Кроме того, значительными были затраты для поддержания рек и каналов в функционирующем состоянии (чистка дна и берегов, углубление русел).

По причине густой речной сети исследователи называли Полесье «польской Голландией», а непроходимые леса «полесскими джунглями». Густая речная сеть, видовое разнообразие растительности и животного мира полесских ландшафтов и значительный историко-культурный потенциал выступали в роли ресурса для развития водных видов туризма [10]. Развитием водного туризма на территории Полесского воеводства в различной степени занимались несколько учреждений и министерств: Министерство коммуникаций и Министерство экономики, государственное учреждение физического воспитания, а также организации: «Союз пропаганды туризма», «Лига поддержки развития туризма», «Польский союз каячного спорта» (ПСКС) и другие туристские и краеведческие организации. Водный туризм определял во многом туристскую специализацию региона и выступал в качестве потенциального связующего элемента транспортной сети Полесья и Польши, а также в перспективе мог выступить в качестве вида туристской специализации и на межгосударственном уровне. Важную роль для организации водного туризма сыграл ПСКС. Начальная стадия развития организованного туризма опиралась на наименее требовательных, не предъявляющих запросов к высокому уровню развития индустрии гостеприимства и туристской инфраструктуры туристов. Такими туристами являлись туристы-спортсмены и самодеятельные туристы. При анализе влияния ПСКС на развитие водного туризма в Полесском-Волыньском регионе необходимо отметить низкий уровень организационных связей между ПСКС и администрацией восточных земель. Единственными контактирующими организациями оставались воеводские туристские комиссии в Бресте и Луцке [1; 5; 8].

Ключевыми городами, участвующими в развитии туризма, являлись: Пинск, Брест, Городище и Давид-Городок. Важнейшим туристским узлом для водных туристов, путешествующих по Полесью, являлся город Пинск. Пинск представлял собой отправной и принимающий пункт целого ряда водных маршрутов для всего Полесско-Волыньского региона. Из Пинска можно было попасть в любую часть Полесья по водным магистралям Припяти, Ясельде, Щаре, Горыни, а также Огинскому и Королевскому каналам. В связи с этим на конференции, посвященной проблемам развития туризма в Полесско-Волыньском регионе, было принято решение о создании пункта контроля водных туристских потоков, задачей которого являлся сбор статистической информации для ПСКС. Кроме этого, он должен был выступать в качестве информационного центра организации туристских поездок и обеспечения техническими средствами для прохождения маршрутов. Статистическая информация собиралась по следующим характеристикам: дата поездки, характеристика транспортных средств (речной корабль, моторная лодка, катамаран, каяк и т. п.), количество туристов и принадлежность к туристскому клубу. Туристская статистическая информация должна была передаваться в ПСКС и в Министерство коммуникаций.

В Полесско-Волыньском регионе в ПСКС были зарегистрированными следующие клубы (данные на 20.03.1936 г.):

– секция водного спорта в Луцке;



- секция водного спорта клуба гребного спорта «Темида» в Луцке;
- секция клуба водного спорта «Стрелец» в Яновой Долине;
- секция водного туризма в Коштополе [1].

На основании вышеприведенного перечня секций можно сделать вывод о том, что Полесское воеводство не было представлено в списке организаций, занимающихся развитием водного туризма. Однако необходимо отметить, что в Полесском регионе существовало несколько самостоятельных «диких» клубов водного туризма, не входящих в единую систему развития туризма в регионе и отказывающихся от сотрудничества с ПСКС. Данное нежелание привело к отсутствию программ финансирования и слабому развитию в целом водного туризма в регионе. По причине недостатка финансовых средств обновление и содержание в исправном состоянии снаряжения и объектов материально-технического обслуживания туристов локальными самостоятельными клубами не осуществлялось. Отсутствовала также пропаганда водного туризма для туристов западной части Польши и для иностранных туристов. Возникали сложности при проведении рекламных водных туров в связи с несогласованной работой отдельных клубов. Примером несогласованности Пинского и Слонимского клубов является провал речного сплава «Путем Сапегов». Существовала сложность в отношениях с «дикими клубами» и их слабой активности при сборе краеведческих сведений о регионе, а также выполнении сбора информации на запросы Министерства коммуникаций. При всех проблемах, возникающих при организации водного туризма, были и позитивные результаты. Удачным примером является осуществление рекламного водного тура, своеобразного речного круиза: Висла – Нарев – Западный Буг – Мухавец – канал Королевский – Пина – Ясельда – канал Огинского – Щара – Неман – Черная Ганча – канал Августовский – Бебжа – Нарев – Висла [1]. Организация водного туризма на территории воеводства требовала предоставления туристам информации о маршруте, а именно: особенностях гидрологического режима рек, остановках, достопримечательностях маршрута и др. Такого рода информация предоставлялась в центрах туристского обслуживания в Пинске и Городище.

Наибольшее число туристов использовали для сплавов реки Стырь и Горынь при путешествиях в направлении с юга на север, а также Припять, канал Королевский и Ясельду – с северо-запада на юго-восток Полесья.

Список наиболее востребованных водных маршрутов выглядел следующим образом (рисунок 2):

1. Пинск (р. Пина) – Городище (р. Ясельда) – Поречье (канал Огинского) – озеро Выгонощанское – р. Щара – Слоним (р. Щара).
2. Пинск – Нырча – Давид-Городок (р. Горынь) – Антоновка.
3. Пинск – озеро Выгонощанское – Городище – Телеханы (р. Пина – Ясельда – канал Огинского – озеро Выгонощанское) – р. Щара (до Доманова).
4. Пинск (р. Пина) – р. Стырь – Старые Кони – Чарторийск.
5. Пинск (р. Пина) – Городище – Мотоль (р. Ясельда) – Спорово (озеро Споровское и озеро Черное).
6. Пинск (р. Пина) – канал Королевский – р. Мухавец – Брест.
7. Ковель – Любач – Нобель (по р. Турья).
8. Влодава – Кодань – Брест (по р. Зап. Буг).
9. Нырча – Давид-Городок – Горынь (по р. Горынь).
10. Столин – Давид-Городок (р. Горынь) – Нырча (р. Припять) – Пинск (р. Пина).



11. Краска – Ратно (р. Припять) – озеро Белое – Селище – канал Белоозерский – Королевский канал – Пинск.
12. Любешов (р. Стоход) – Нобель (озеро Нобель) – Пинск (р. Пина).
13. Ратно – р. Горная Припять (р. Турья до устья Припяти) – канал Выжевского – озеро Святое – озеро Волянское – озеро Белое – канал Королевский – Пинск (р. Пина в р. Струмень).
14. Луцк – Волчица (р. Стыр) – Старые Кони (р. Простырь) – Пинск (р. Струмень).
15. Береза Картузская – Рудка – Городище (р. Ясельда) – Пинск (р. Пина) [1; 4; 6; 8].



Рисунок 2 – Объекты водного туризма и речная туристская сеть

При организации водного туризма как спортивного, так и познавательного, рекомендовалось внедрять элементы других видов туристской деятельности. Результатом этого явилось объединение и комбинирование разных видов туристской деятельности. Прохождение маршрута на байдарках либо лодках целесообразно было совмещать с остановками на территории складывающихся рекреационных зон, которые в свою очередь были приурочены к озерам. Такими зонами являлась шацкая группа озер; озера Белое, Рогозенское, Меднянское – при прохождении маршрута по реке



Западный Буг, а озера Споровское, Черное, Белое – при прохождении маршрута по реке Ясельда [10]. Кроме рекреационных видов туризма, сложились объективные предпосылки для развития в качестве вида туристской деятельности рыболовства. Рыболовство как вид туристской деятельности выступало, с одной стороны, как собственно рыбалка, заключающаяся в деятельности, дополняющая отдых вблизи водного объекта, с другой, как спортивная деятельность, при которой выловленная рыба выпускалась обратно в среду своего обычного обитания либо в виде трофея отдельно выкупалась у владельца места стоянки. Мерой, способствующей развитию туристского рыболовства, явилось строительство в местах водных туристских станций искусственных бассейнов либо ограждение участка озера, реки для сохранения выловленной живой рыбы. Следует отметить, что рыболовство как вид туристской деятельности предполагалось только для приезжих туристов из других воеводств Польши либо иностранцев, так как рыболовство рассматривалось местным населением в качестве вида хозяйственной деятельности, а не отдыха [1].

Мерой, определяющей развитие всех видов туристской деятельности и в частности водного туризма, являлось строительство туристских станций, обеспечивающих кратковременное проживание туристов, а также временное перепрофилирование различных учреждений для приема туристов. Строительство велось с учетом того, что в состав туристских групп входило не более 5–15 человек, а при прохождении маршрута количество групп не превышало 2–3. Таким образом, единовременная вместимость туристского объекта проживания составляла 50 человек. К туристским станциям краткосрочного проживания, специально организованным, в связи с возникшей потребностью на ключевых туристских маршрутах, относились:

1. Станция в городе Бресте.
2. Станция над рекой Мухавец в Бресте. Собственность харцерской организации.
3. Станция в Кобрине в здании полицейского поста.
4. Станция в Пинске в здании школы.
5. Станция в Телеханах.
6. Станция в Песках [6].

Все специализированные станции проживания туристов могли единовременно принять 132 человека. Кроме специализированных станций предусматривалась аренда домов или комнат у местного населения, прежде всего сельского. Аренда помещений у местного населения решала проблему мест стоянок и проживания на территориях, удаленных от административных центров. Совместная единовременная вместимость специализированных станций и арендованных у населения помещений составляет 542 места [9]. В целом собственный воеводский фонд объектов проживания туристов составлял всего 24,6% от совокупного. Кроме того, для размещения туристов использовались частные гостиницы, которых насчитывалось 59 (рисунок 3). Количество и вместимость частных гостиниц во многом было обусловлено величиной и статусом населенного пункта, в котором они находились. В Пинске количество частных гостиниц составляло 13, а средняя вместимость составляла 63 человека; в Ивацевичах была всего одна гостиница, готовая принять лишь 21 человека. Частные гостиницы, представляющие собой гостинично-ресторанные комплексы самого высокого уровня, которые существовали в Полесском воеводстве в то время, оказывали не только услуги по проживанию туристов, но и обеспечивали питанием на базе собственных ресторанов.

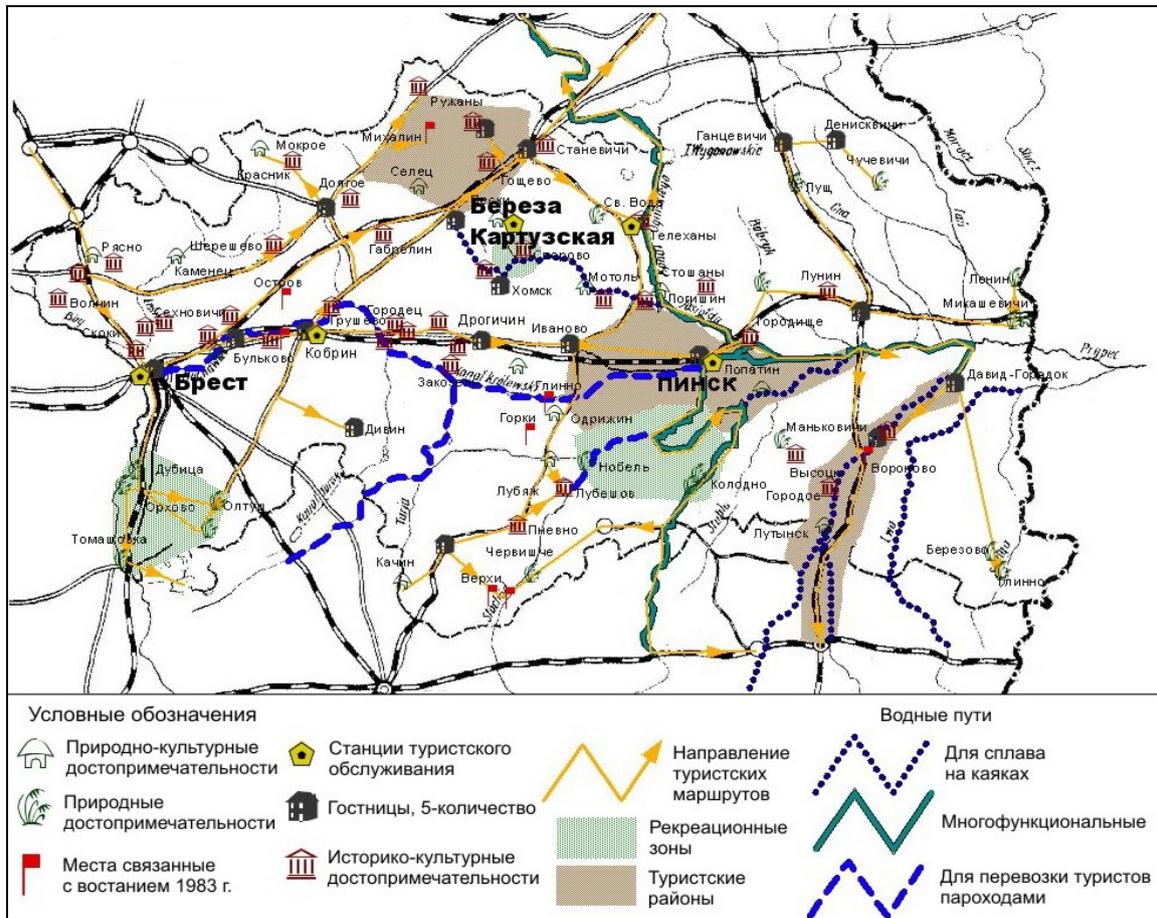


Рисунок 3 – Туристская карта Полесского воеводства, 1933 г.

Рекреацыйная дзейнасць на тэрыторыі Полесскага воеводства ажыццяўлялася таксама ў рамках арганізацыі летніх дзіцячых лагераў. Стварэннем дзіцячых лагераў займаліся: міністэрства адукацыі, прафсаюзнае арганізацыі, грамадзянскія, у тым ліку і благадзейныя арганізацыі (табліца 3) [9].

Табліца 3 – Населеныя пункты ў Брэстскім павеце, у якіх былі арганізаваны дзіцячыя летнія лагера

Учреждение – арганізатар	Тып лагера	Местарасположение
Воеводская камісія па справах летніх лагераў	Стационарнага/дзіцячага пражывання	Дубіца
Грамадства агляды над еўрэйскімі дзіцьмі г. Пінска	Стационарнага/дзіцячага пражывання	Домачэво
Грамадства «Тоз» ў г. Брэсце	Стационарнага/дзіцячага пражывання	Домачэво
Грамадства «Тоз» ў г. Брэсце	Краткачасовага/часовага пражывання	Брэст
Грамадства Матэры Школьнай ў г. Брэсце	Стационарнага/дзіцячага пражывання	Імяне Скокі



Организация школьных поездок в различные регионы Польши финансировалась школьным туристским фондом, который складывался из взносов учеников и государственных дотаций в соотношении 20:80. Ученики самостоятельно выбирали регион посещения. Полесский регион занимал, как правило, одно из последних мест в рейтинге посещений. Однако ситуация изменилась в связи с тем, что ученикам было предложено осуществлять не одну, а несколько поездок в год. Ввиду этого администрация школ распределяла бюджет поездок таким образом, чтобы кроме, самых популярных регионов (Поморье, Краков, Татры) школьники посещали и слаборазвитые с туристской точки зрения, но наиболее экзотические и привлекательные с познавательной точки зрения регионы. Кроме фактора познавательной аттрактивности природы, значительную роль играл экономический фактор – стоимость поездок. Так, стоимость поездки в Полесско-Волынский регион составляла 65% стоимости поездки в Татры для школьников из Варшавы. Снижение стоимости поездки осуществлялась на основании анализа структуры расходов (таблица 4) [7].

Таблица 4 – Структура расходов во время 8-дневной туристско-экскурсионной поездки

№	Источники туристских расходов	% от общей доли
1	Билеты на железнодорожные и автобусные перевозки	54
2	Питание	25
3	Проживание	7
4	Водный транспорт	1,5
5	Связь (почта, телеграф)	8
6	Экскурсоводы/проводники	2
7	Медицинская помощь	0,5
8	Другие более мелкие источники	2
Итого		100

Анализ таблицы 4 показывает, что основная часть расходов, осуществляемых во время туристских поездок, приходилось на покупку железнодорожных билетов и питание. Для сокращения расходов вводились льготы, составляющие до 80% стоимости проезда на железнодорожном транспорте, а продолжительность срока действия льгот на билеты удваивалась. Стоимость питания для школьников составляла всего лишь 5 грошей за порцию [1].

Эти мероприятия способствовали двукратному увеличению количества школьных туристских поездок, приносивших экономический эффект лишь в том случае, если количество туристов в группе превышало 500 человек. Невысокая стоимость школьных туристских поездок была связана с тем, что в качестве мест проживания использовались помещения краеведческих станций, школ и домов сельских жителей. Основное количество школьных поездок в Полесском регионе осуществлялось школами Полесья. Поездки носили не только познавательную, но также описательную и поисковую функции. Собранный во время поездок материал представлял собой основу при разработке экскурсионно-туристических маршрутов для последующих туристских путешествий.

Целенаправленная туристско-краеведческая работа осуществлялась в кружках. Так, работа краеведческого кружка в гимназии г. Пинска осуществлялась по следующим основным направлениям:

1. Сбор материалов о природе, культуре, населении, хозяйстве Полесья.



2. Издание брошюр.
3. Написание статей для краеведческих изданий «Полет орла» и «Рядом и изда-лека».
4. Сбор экспонатов для Музея Полесья.
5. Организация курсов подготовки экскурсоводов и проводников.
6. Организация и обеспечение необходимым оборудованием приезжих туристов, путешествующих по Полесью.
7. Обмен опытом краеведческой работы с другими обществами и кружками че-рез участие в конференциях.
8. Организация поездок по территории Польши.
9. Составление картографического материала для территории Полесья и отдель-ных его уголков [6].

На территории Полесского воеводства туристскую деятельность осуществляли также туристские фирмы. Спектр видов услуг туристских фирм отличался от современ-ного и основывался преимущественно на предложении по оказанию помощи в оформлении документов и покупке билетов для отъезжающих лиц в Северную и Южную Америку и в Австралию [11]. Данную деятельность нельзя назвать турист-ской, так как поездка клиентов турфирм осуществлялась на постоянное жительство.

В целом деятельность туристских агентств того времени была обусловлена эконо-мическими и политическими обстоятельствами, и в перечне оказываемых услуг не значилась, за редким исключением, организации поездок внутри страны.

Организация туристской деятельности в Полесском воеводстве в 1920–30-е годы имела ряд особенностей, что обусловлено различиями в экономико-географическом и политико-географическом положении Полесского региона, входившего в качестве ад-министративной единицы в состав Польши. Отражением этих различий являлась смена ориентации на центры туристских потоков, а также влияние внешних условий на фор-мирование туристского продукта. В силу общности возникающих проблем, связанных с формированием транспортной сети, а также поиском путей эффективного размещения населения и организации производства туристское освоение региона тесным образом было переплетено с хозяйственным освоением. Цель развития туризма, как и всего хо-зяйства Полесья, заключалась в необходимости получения максимального экономиче-ского эффекта от организации любого вида деятельности. Необходимо было преодо-леть значительный контраст в социально-экономическом развитии региона в сравнении с западными землями Польши. Осознание туризма как многогранного процесса создало условие для развития определенного набора видов туристской деятельности, которые положили основу для формирования позитивного имиджа региона. Научно-исследовательская работа имела определяющее значение, так как состояла не только в накоплении и анализе информации о Полесье, но и в пропаганде знаний о регионе среди туристских организаций и учреждений, а также среди потенциальных туристов. С учетом низкого социально-экономического развития региона перспективными вида-ми туризма в Полесском воеводстве являлись водный туризм экскурсионного либо спортивного направления, рекреационно-оздоровительный туризм, основанный на при-родных ресурсах полесских ландшафтов. Основными потребителями туристского про-дукта являлась школьная и студенческая молодежь, туристы-спортсмены, люди средне-го и старшего возраста, предпочитающие уединенный отдых с рыбалкой.



Заклучение

Туристская дзейнасць на тэрыторыі Брэсцкай вобласці ў пачатку ХХ стагоддзя знаходзілася на пачатковым этапе развіцця, для якога характэрна навучна-краяведчае вывучэнне патэнцыяльных турыстычных рэсурсаў, накопленне і аналіз атрыманай інфармацыі. Турыстычная дзейнасць сапачала ў сабе як працэс навучнага, так і гаспадарчага асваення тэрыторыі. У мэтах далейшага вызначэння напраўленняў развіцця турызму і ўдзячэнне новых турыстычных рэсурсаў праймавалася выдзялення спецыялізаваных турыстычных тэрыторыяў. На аснове патрэбнасцей насельніцтва заходніх воеводстваў Польшы былі арганізаваны турыстычныя маршруты і ўстаноўлены месца турыстычнага пражывання.

Такім абырамак, следуе канстатываваць аб наяўнасці агульнаеўрапейскіх тэндэнцыяў развіцця турызму праявіўшыхся на польскім этапе развіцця турызму на тэрыторыі Брэсцкай вобласці ў 20–30-е гады ХХ стагоддзя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oplowicz, M. Turystyka na Polesiu. Protokół I zjazdu turystycznego odbytego w Pinsku 5 i 6 czerwca, 1936. / M. Oplowicz. – Warszawa, 1938. – 138 s.
2. Mondalski, Wiktor. POLESIE. Cz. I. Zarys wiadomości ogólnych / Wiktor Mondalski. – Brzesk n/B. 1937. – 78 s.
3. Mondalski, Wiktor. Wśród ruin przeszłości na Polesiu / Wiktor Mondalski. – Brzesk n/B, 1929. – 14 s.
4. Rocznik Poleski 1927. Brzesk n/B 1926. – Nakł. Brzeskiego Oddziału P.T.K. – 125 s.
5. Grodzicki, Ludwik. Szkic topograficzno-fizjograficzny WOJ. POLESKIEGO / Ludwik. Grodzicki. – Brzesk n/B, 1930. – 8 s.
6. Polesie i turysta. Kolo Kraloznawcze. – Pinsk, 1936. – 54 s.
7. Olszewicz, B. Obraz Polski Dziejsejszej. Fakty, cyfry, tablice / B. Olszewicz. – Warszawa, 1938. – 80 s.
8. Krotki Poleski informator turystyczno-krajoznawczy. – Nakł. Spółdzielni Wydawniczej w Brzesciu n/B, 1932. – 23 s.
9. Przegląd krajoznawczy. Czasopismo ilustrowane poświęcone sprawom turystyki i rozbudowy kraju. – 1933. – № 5–6. – 58 s.
10. Marczak, M. Przewodnik po Polesiu / M. Marczak. – Brzesk n/B, 1935. – 150 s.
11. Oczerety. Czasopismo poświęcone sprawom Polesia. – Brzesk n/B, 1936–37. – № 1. – 40 s.

E. Meshechko, D. Nikityk. The Development of Tourist and Excursion Activity on the Territory of Brest Region in the 20-30s' of XX centuries

In the article tourist and excursion activity on the territory of Brest region in the 20-30s' of XX centuries when the territory was a part of Poland is described. Considering social and economic backwardness of Polesye area tourism was based on natural, historical and cultural objects. Water objects (rivers, lakes), bogs, protected natural territories (reservation, national park Belovezhskaya Pushcha) were of great popularity. The characteristic of the most attractive kinds of tourism: water, excursion, sports, recreational, based on natural resources of poleski landscapes is given.



УДК 911.2:581.524.4

Н.В. Михальчук, В.А. Мороз

СТРУКТУРА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ДЕПРЕССИОННО-КАРБОНАТНО-ОСТРОВНЫХ МЕЗОКОМПЛЕКСОВ

В статье дана подробная характеристика растительного покрова депрессионно-карбонатно-островных комплексов, основанная на использовании фитоценологических и территориальных типологических единиц. Предложена авторская классификация территориальных типологических единиц в ранге микрокомбинаций. В качестве микрокомбинаций рассматриваются комплексы растительных сообществ и микропоясные экологические ряды.

Крупномасштабное картографирование растительности, начиная с 80-х гг. XX в., развивалось преимущественно в направлении поисков ландшафтно-структурных и динамических закономерностей растительного покрова (РП). Это определялось необходимостью отражения на карте всего разнообразия сообществ, образующих на любой местности сложную мозаику – как плакорных, так и неплакорных сообществ [1]. В советской научной школе сложилось представление о лесном типе растительности как об относительно однородном, гомогенном образовании, внутри которого всё разнообразие РП может быть типизировано и закартировано с помощью фитоценологических единиц (геометров [2]), начиная с ассоциации и заканчивая фратриями классов формаций.

Однако, как показывает большое количество работ геоботаников и ландшафтоведов периода 50–70 гг. XX в., лесному типу растительности также присущи большинство из выявленных закономерностей, характерных для таких изначально гетерогенных образований, как растительность в горах, комбинации луговых сообществ и т. п.

Вместе с тем, по мнению Л.Г. Раменского, наличие комбинаций лесной растительности представляет собой явление, отличное от комбинаций луговых. Сочетания сообществ, связанные с различными формами мезорельефа, наиболее характерны для комбинаций лесных сообществ, тогда как комбинации луговых сообществ проявляются, как правило, внутри одной мезоформы рельефа. Ведущим фактором, определяющим формирование комбинаций лесной растительности, является мезорельеф, измеряемый по горизонтали сотнями и по вертикали десятками метров [3].

По мнению В.Н. Сукачёва и С.В. Зонна, применительно к лесной растительности указания на категорию комбинаций встречаются реже, но «имеют большое практическое значение, в частности при картировании» [4, с. 41].

Работы по планомерному изучению комбинаций лесной растительности начали проводиться лишь в конце XX – начале XXI в. [5; 6]. По современным представлениям, комбинации лесной растительности представляют собою не случайное сочетание ассоциаций (вариантов типов леса), а закономерное, исторически сложившееся единое целое, компоненты которого в той или иной степени сопряжены между собою. Каждый из них приурочен к определенным условиям местообитания, с которыми находится в постоянном взаимодействии.

В условиях Беларуси комбинации лесной растительности отчетливо проявляются в границах депрессионно-островных мезокомплексов (ДОМК) [7]. ДОМК примерно соответствуют болотно-карбонатно-солончаковому ландшафтно-мелиоративному комплексу В.Н. Киселёва и депрессионным аккумулятивно-пятнистым сочетаниям почв,



выделенным Т.А. Романовой и др. Геоморфологический «портрет» – множество суходольных островов площадью от 0,05 до 10,0 га, расположенных преимущественно в центральных частях обширных болотных массивов. Последние представляют собою древнеозерные котловины, неровности дна которых по мере аридизации климата и снижения уровня вод постепенно приобретали черты островности. Следовательно, каждый контур подобных образований в определенный момент их генезиса находился в условиях выпотного водного режима, что и предопределило повсеместное проявление процессов кальцитогенеза в почвах [7].

Растительный покров ДОМК Брестского Полесья представляет собой сложный комплекс лесных, кустарниковых и луговых сообществ в различных сочетаниях и соотношениях слагающих их территориальных единиц. Его образование связано с особенностями гидрологического и почвенного режимов, обусловленных следующими факторами [8]: 1) неглубокое (10–40 м) залегание коренных мергельно-меловых пород; 2) размещение основной части территории в зоне разгрузки напорных грунтовых вод, обогащенных ионами кальция и гидрокарбонат-ионами в условиях гидродинамической связи приповерхностного водоносного горизонта и вод коренных мергельно-меловых отложений; 3) дифференциация и усложнение первично слабо расчленённого рельефа озерно-аллювиальной равнины за счет омергеления исходной материнской породы восходящими кальций-насыщенными водами; 4) усиление процессов карбонатакопления по причине нарастания физического испарения в зоне капиллярного насыщения почвы на фоне уменьшения физиологического испарения древесной растительностью, регрессирующей в постмелиоративный период. Таким образом, развитие на исследуемой территории сложного (гетерогенного) РП обусловлено целым рядом факторов, ведущим среди которых является геохимический.

Объект и методы исследования

Полевые исследования РП ДОМК осуществляли с 1999 по 2009 годы в границах Брестского Полесья как физико-географического округа. Отбор участков в качестве модельных производили в ландшафтах, наиболее типичных для данного округа, т. е. там, где ярче всего проявляются зональные и региональные особенности РП или его специфические локальные черты. В границах этих ландшафтов выделяли ряд типов урочищ с закономерными сочетаниями почв, растительности, геоморфологических, гидрологических условий, а также проявлением различных форм хозяйственной деятельности человека. Наиболее типичным среди исследованных модельных участков (МУ) является «Днепробугский», представляющий собой категорию природно-антропогенных ландшафтов в ранге рода сельскохозяйственно-лесных, подрода лесополевых ландшафтов. Сельскохозяйственные угодья принадлежат ОАО «Днепробугское» и ОАО «Онисковичи», островные лесокустарниковые участки относятся к угодьям Повитьевского лесничества Кобринского опытного лесхоза. Данный МУ расположен в 5 км севернее поселка Ореховский Кобринского района и в 12 км южнее Днепроовско-Бугского канала. Географические координаты его центра – 52°03' с.ш. и 24°37' в.д. Его площадь составляет 35,3 км², площадь островных дендрочастков – 8,3 км².

Согласно ландшафтнoй карте МУ расположен в границах плосковогнутой низины с редкими останцами террас, занятой низинными болотами и внепойменными лугами, и в категории рода ландшафта относится к нерасчленённым комплексам с преобладанием болот. Ландшафт – озерно-аллювиальный, песчаный с покровом супесей и суглинков, торфяно-болотными и дерновыми заболоченными почвами. Абсолютные высо-



ты поверхности варьируют в пределах 145,4–146,6 м. Для МУ характерно преобладание положительных мезоформ рельефа в виде «возвышений» небольших размеров с превышением над прилегающими территориями на 0,5–2,0 м.

Естественная растительность исследуемых островных дендрочастков (ОДУ) представлена территориальными единицами (ТЕ) гомогенного (низшими типологическими единицами лесного и лугового типов и кустарникового подтипа растительности) и гетерогенного РП (микрокомбинациями) [9;10]. При выделении комплексной растительности использовались данные маршрутных исследований, с помощью которых устанавливались закономерные и часто повторяющиеся в пространстве совокупности фитоценозов и/или их фрагментов. В качестве микрокомбинаций различались комплексы растительных сообществ и микропоясные экологические ряды (МПЭР) [9; 10]. Использование территориальных единиц для характеристики структуры гетерогенного РП, в отличие от подходов, основанных на фитоценотической классификации, позволяет осуществлять крупномасштабное геоботаническое картирование участков с большим количеством мелкоплощадных контуров естественной растительности.

При характеристике территориальной структуры РП ДОМК в границах МУ «Днепробугский» производились следующие этапы ее оценки [11]: а) анализ приуроченности единиц гомогенного и гетерогенного растительного покрова к определенным элементам и формам микро- и мезорельефа, почвенным разностям и морфологическим частям ОДУ; б) определение набора типов сообществ и микрокомбинаций, свойственный каждому ОДУ; в) определение процентного соотношения площадей выделенных типологических единиц в каждом ОДУ; г) вычисление частоты встречаемости каждой типологической единицы по всему МУ.

Результаты и обсуждение

Исследования проводились в границах 133 ОДУ. В ходе полевых исследований оконтурено 1 107 элементарных выделов РП. В процессе камеральной обработки было выделено 241 элементарных единиц РП в ранге ассоциаций и их фрагментов, конкретных комплексов и микропоясных рядов, относящихся к 65 группам ассоциаций и 10 микрокомбинациям. Далее приведены характеристики выделенных ТЕ сообществ и микрокомбинаций. При анализе РП МУ и крупномасштабном картировании использована типологическая схема сообществ и микрокомбинаций.

Установлено, что гомогенный растительный покров в границах ОДУ ДОМК МУ «Днепробугский» представлен на площади 628,11 га, что составляет 76,19% от общей площади их естественной растительности.

Иерархическая система выделенных типологических единиц гомогенного растительного покрова представлена на рисунке 1. Она отражает соподчинение высших единиц классификации – от формации до типа растительности.

Лесной тип гомогенной растительности составляют сообщества, относящиеся к формациям сосновых, дубовых, грабовых, ясеневых, липовых, черноольховых, коренных пушистоберезовых, производных повислоберезовых и осиновых лесов.

Сосновые леса занимают 53,07 га, или 6,44%. В большинстве случаев распространены в южной части МУ – в периферийной зоне бывшего палеоводоёма, о чем свидетельствуют дюнные образования вдоль его предполагаемой береговой линии. Эти леса объединены в 5 групп ассоциаций: сосняки молиниевые-разнотравные, сосняки мшистые, сосняки мертвотравные, сосняки травяные с бореальным разнотравьем, сосня-



ки черничные. Чаще приурочены к дерново-подзолистым песчаным почвам на древнеаллювиальных рыхлых песках.

Формация дубрав суходольных (плакорных) в границах МУ представлена зональной для территории Брестского Полесья субформацией грабовых плакорных дубрав и тремя классами ассоциаций: чистых дубняков, липо-дубняков и ясене-дубняков. Занимает 55,56 га (6,74%) лесопокрытой площади модельного участка, чаще приурочена к дерново-глееватым карбонатным супесчаным почвам на древнеаллювиальных рыхлых песчаных супесях, подстилаемых с глубины 0,5–0,8 м рыхлыми песками. Липовые леса, как и сообщества грабовых лесов, представлены мелким контуром на площади 0,249 га (0,03% РП).

ТИП РАСТИТЕЛЬНОСТИ – ЛЕСНОЙ

КЛАСС ФОРМАЦИЙ – ХВОЙНЫЕ ЛЕСА

Группа ФОРМАЦИЙ – СВЕТЛОХВОЙНЫЕ ЛЕСА

Формация – сосновые леса

КЛАСС ФОРМАЦИЙ – ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА

Группа ФОРМАЦИЙ – ДУБРАВНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА

Формация – дубовые леса

Формация – грабовые леса

Формация – ясеновые леса

Формация – липовые леса

КЛАСС ФОРМАЦИЙ – МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА

Группа ФОРМАЦИЙ – КОРЕННЫЕ МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА

Формация – коренные черноольховые леса

Формация – коренные пушистоберезовые леса

Группа ФОРМАЦИЙ – ПРОИЗВОДНЫЕ МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА

Формация – производные черноольховые леса

Формация – производные бородавчатоберезовые леса

Формация – производные осинового леса

ПОДТИП РАСТИТЕЛЬНОСТИ – КУСТАРНИКОВЫЙ

Формация – ксеромезофитные кустарниковые сообщества

ТИП РАСТИТЕЛЬНОСТИ – ЛУГОВОЙ

Группа ФОРМАЦИЙ – ВНЕПОЙМЕННЫЕ ЛУГА

Формация – луга внепойменные ксерофитные

Формация – луга внепойменные мезофитные

Формация – луга внепойменные низинные

Рисунок 1 – Иерархическая схема фитоценологических единиц высшего порядка гомогенного растительного покрова островных дендромассивов ДОМК



Сообщества грабовых лесов имеют незначительное распространение (0,1%, или 0,887 га). Выделяется одна ассоциация – грабняк березово-мертвопокровный, относящаяся к группе ассоциаций грабняков мертвопокровных и классу грабняков чистых. Расположена в относительно повышенной части ОДУ на достаточно увлажненных и богатых дерново-глееватых песчаных почвах на древнеаллювиальных связных песках, сменяемых с глубины 0,3–0,5 м рыхлыми песками. Фитоценотическая устойчивость граба обыкновенного в исследуемой ассоциации высока, что выражается отсутствием в пределах данного сообщества дуба черешчатого даже в качестве субэдикатора.

Ясеновые леса занимают 7,95 га (около 1% в составе РП). Ввиду того, что РП исследуемой территории испытал существенную структурную перестройку под влиянием осушительной мелиорации 80-х гг. XX в., вызвавшей смещение и перекрытие эдафофитоценотических рядов основных лесообразующих пород (в понимании И.Д. Юркевича, Н.Ф. Ловчего, В.С. Гельтмана [12]), выделение в составе формации ясеновых лесов коренных и производных от дубрав ассоциаций и групп ассоциаций затруднено.

Широкое распространение коренных мелколиственных лесов в границах МУ «Днепробугский» обусловлено приуроченностью данной территории к некогда единому заторфованному массиву низинных болот с включенными участками лесокустарниковой растительности. В РП они занимают 183,78 га (22,3% от площади ОДУ). Сложены коренными черноольховыми и пушистоберезовыми сообществами. Занимают торфяно-болотные и сопряженные с ними органоминеральные почвы на окраинах ОДУ и в их микрозападинах.

Сообщества коренных черноольховых лесов имеют площадь 91,76 га (11,13%). Они представлены субформациями монодоминантных черноольховых и бидоминантных пушистоберезово-черноольховых лесов. Занимают местообитания с дерново-глееватыми песчаными почвами на древнеаллювиальных связных песках, сменяемых с глубины 0,3–0,5 м рыхлыми песками. В результате сукцессионных изменений, вызванных уменьшением степени обводненности территории, переходы между данными субформациями прослеживаются нечетко; в составе сообществ бидоминантной пушистоберезовой субформации на данный момент отмечается значительная доля участия березы повислой, свидетельствующая о мезофитизации гидроморфных экотопов. Поэтому представляется целесообразным рассматривать выделенные группы ассоциаций черноольховых лесов без их типизации на субформации. Для формации коренных черноольховых лесов установлено 6 групп ассоциаций: черноольшаники кочедыжниковые, крапивные, осоковые, болотно-разнотравные, сфагновые и тростниковые.

Коренные березовые (пушистоберезовые) леса сохранились в краевых зонах и понижениях (западинах) дендрочастков, для которых до начала воздействия осушительной мелиорации была характерна высокая степень гидроморфности. Почвенный покров составляют дерново-глеевые супесчаные почвы на древнеаллювиальных рыхлых песчаных супесях, подстилаемых с глубины 0,3–0,5 м рыхлыми песками, а также торфянисто-перегнойно-глеевые почвы преимущественно на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых рыхлыми песками. Основная лесообразующая порода в таких условиях – береза пушистая (*Betula pubescens*). Она требовательна к влаге и образует высокоствольные насаждения. Ввиду плохой переносимости засоления почвогрунтов (в отличие от березы повислой), ее участие в древостоях ОДУ с автоморфным режимом и при усилении карбонатности субстратов незначительно. В РП с полугидроморфным режимом роль березы пушистой наоборот возрастает. Наилучшего развития сообществ



ва из березы пушистой достигают в западинах (палеопроточных и анклавных) внутри ОДУ с хорошо увлажненными торфянисто-перегнойно-глеевыми почвами.

Нами было выделено 26 ассоциаций коренных пушистоберезовых лесов, входящих в 5 групп ассоциаций и одну субформацию коренных пушистоберезовых лесов монодоминантных (доля ольхи черной в сообществах не достигает 40%, поэтому выделение субформации черноольхово-пушистоберезовых лесов не представляется рациональным). Сообщества формации коренных пушистоберезовых лесов выявлены на площади 92,48 га, что составляет 11,2% РП ОДУ.

На переходе от микрозападин или окраинных зон повышений к их центральным частям с автоморфными условиями располагаются производные мелколиственные сообщества. В РП они занимают 183,78 га (22,3% от площади ОДУ). Сложены производными черноольховыми, повислоберезовыми и осиновыми сообществами.

Производные черноольховые леса являются мелиоративно-обусловленными и отражают сукцессии, вызванные осушительной мелиорацией. Их доля в структуре РП незначительна (0,55 га, или 0,07%). Включают две группы ассоциаций – производных черноольшаников снытевых и черноольшаников мертвопокровных. Генезис черноольшаника мертвопокровного, представленного производной ассоциацией черноольшаника свиудиново-мертвопокровного, объясняется значительным развитием подлеска из свидины кроваво-красной при достаточно высоких параметрах полноты древостоя, образованного ольхой черной с незначительной примесью березы бородавчатой, сосны и осины. Ввиду значительной затененности живой напочвенный покров практически не развит.

В границах повышений с автоморфным режимом почвогрунтов и переходных (склоновых) зон от полугидроморфных к автоморфным условиям доминирующее положение занимают лесные сообщества, образованные березой повислой (*Betula pendula*). Экологическая пластичность этой породы чрезвычайно широка: она способна переносить засуху; отличается повышенной морозоустойчивостью, в том числе к весенним заморозкам, наносящим в условиях Брестского Полесья значительный урон широколиственным (особенно дубовым) насаждениям, произрастающим в тех же экологических условиях; неприхотлива к почвенным условиям, в том числе и к карбонатному засолению.

Производные повислоберезовые леса представлены двумя субформациями: а) производных от дубовых лесов (насчитывает 49 ассоциаций, входящих в 9 групп ассоциаций); б) производных от сосновых лесов (включает пять ассоциаций и три группы ассоциаций). Соотношение площадей входящих в их состав сообществ – 98,16 и 1,84%. Общая площадь сообществ данной формации в структуре РП ОДУ составляет 268,99 га (32,63%). Наиболее распространенными группами ассоциаций среди бородавчатоберезовых лесов, производных от дубовых лесов, являются березняки крапивные, мертвопокровные, молиниевые, редкотравные, редкотравные с неморальным разнотравьем. Среди формации бородавчатоберезовых лесов, производных от сосновых лесов, выделяются группы ассоциаций березняков черничных, мшистых и орляковых.

Осиновые леса встречаются небольшими участками и занимают в РП 3,04% (25,07 га). Являются производными ценозами от дубовых и сосновых лесов. На этом основании в формации выделяются две субформации. Их характеристика соответствует коренным типам. Субформация осиновых лесов, производных от дубовых, является более представительной по занимаемой площади (97,12%) и по количеству выявленных контуров. Она насчитывает три группы ассоциаций: осинников травяных, крапивных и мертвопокровных. Субформация осиновых лесов, производных от сосновых, включает три группы ассоциаций: осинников сосново-травяных, орляковых и черничных.



Кустарниковый подтип лесного типа растительности ОДУ МУ «Днепробугский» отмечается на площади 1,84 га (0,22%). Представлен формацией ксеромезофитных кустарниковых сообществ, являющихся как длительно производными, так и коротко производными вторичными. В составе формации – один класс ассоциаций: кустарников свидиновых.

Коротко производные вторичные кустарниковые свидиновые сообщества выделяются в юго-восточной части МУ, в наибольшей степени подвергшейся мелиоративному воздействию. Они образовались на месте деградировавших широколиственных и повислоберезовых лесных ценозов. К ним относится группа ассоциаций свидинников мертвопокровных, которая в границах отдельных ОДУ является доминирующей. Сообщества отличаются очень густым кустарниковым ярусом, сложенным свидиной кроваво-красной, лещиной обыкновенной, жостером слабительным. Живой напочвенный покров практически не развит. Виды лугового разнотравья и злаков отмечаются лишь по периферии ОДУ в экотонной зоне. По степени представленности в составе кустарникового яруса лещины обыкновенной выделяются две ассоциации: свидинников лещиново-мертвопокровных и свидинников мертвопокровных.

Луговая растительность на ОДУ МУ «Днепробугский» не отличается репрезентативностью как по площади участков, так и по набору ассоциаций. Размеры ее выделов изменяются от 0,06 до 7,0 га при среднем значении около 1,0 га. Представлена тремя формациями внепойменных лугов: ксерофитных, мезофитных и гигрофитных.

Ксерофитные луга занимают 2,07% (17,06 га). Формация ксерофитных (остепенных) лугов генетически связана с наиболее повышенными и иссушенными частями ОДУ. В почвенном покрове наблюдается множество переходов от дерново-глееватых карбонатных песчаных почв на древнеаллювиальных связных песках, сменяемых с глубины 0,3–0,5 м рыхлыми песками к дерново-подзолистым песчаным почвам на древнеаллювиальных рыхлых песках. Прогрессирующая ксерофитизация мезофитных и ксеромезофитных луговых сообществ, обусловленная понижением уровня грунтовых вод (УГВ) и изменением водно-солевого режима почв, ведет к доминированию на их месте ксерофитных и мезоксерофитных луговых сообществ.

Формация мезофитных лугов представлена растительностью широких окраинных зон ОДУ и лесных полей, почвенный покров которых характеризуется более высоким УГВ, чем под ксерофитно-луговой растительностью, а также меньшим содержанием карбонатов. Занимают, как правило, местоположения с минеральными остаточноторфянистыми с высоким содержанием органического вещества связнопесчаными почвами. Доля в структуре РП составляет 0,9% (7,64 га). Основные признаки этих луговых сообществ – полидоминантность и высокая видовая насыщенность.

Низинные луга по занимаемой площади (3,9 га) среди внепойменных лугов ОДУ наименее представлены. Растительность низинных (гигрофитных) лугов отмечается в границах западин с полугидроморфным, редко – с гидроморфным режимом почв. Доминируют торфяно-перегнойные почвы преимущественно на тростниково-осоковых торфах маломощных.

В границах ОДУ МУ «Днепробугский» довольно значительные площади занимают собственно ТЕ РП – микрокомбинации сообществ и/или их фрагментов (196,29 га, или 23,8%). Анализ микрокомбинаций растительных сообществ позволил отнести их к двум видам – комплексам и МПЭР (рисунок 2).

Комплексы и МПЭР подразделяются на соответствующие классы, подклассы и группы. Классы выделялись по генезису соответствующих единиц РП. Внутри классов



по степени проявления доминирующего фактора выделялись подклассы. Подклассы комплексов различаются по составу сообществ компонентов и по их приуроченности к сходным элементам микрорельефа. Группа комплексов внутри подклассов выделялась по доминированию в их составе групп ассоциаций. Деление МПЭР на подклассы производилось на основе различий в гидрологическом режиме субстратов, на группы – аналогично комплексам – по доминирующим группам ассоциаций.

МИКРОКОМБИНАЦИИ (КОМПЛЕКСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ)

Вид микрокомбинаций – комплексы

Класс комплексов: геоморфогенные комплексы

Подкласс комплексов: геоморфогенные лесные комплексы

Класс комплексов: гидроэдафогенные комплексы

Подкласс комплексов: гидроэдафогенные кустарниково-луговые комплексы

Подкласс комплексов: гидроэдафогенные лесолуговые комплексы

Вид микрокомбинаций – микропоясные экологические ряды

Класс МПЭР: МПЭР западины

Подкласс МПЭР: МПЭР западины, автоморфные

Подкласс МПЭР: МПЭР западины, полугидро- и автоморфные

Класс МПЭР: МПЭР склона

Подкласс МПЭР: МПЭР склона, автоморфные

Подкласс МПЭР: МПЭР склона, полугидро- и автоморфные

Рисунок 2 – Иерархическая схема территориальных единиц гетерогенного растительного покрова островных дендромассивов ДОМК

В составе микрокомбинаций комплексы растительности занимают 93%. Представлены двумя классами комплексов сообществ – геоморфогенных и гидроэдафогенных. Особо выделяется комплексная растительность микрокомбинаций в ранге класса гидроэдафогенных комплексов. Состав компонентов их РП и его состояние определяется водно-солевым режимом местообитаний и находится в прямой зависимости от глубины залегания грунтовых вод. Подобные ТЕ гетерогенного РП занимают в большинстве случаев плоские возвышенные центральные части повышений с дерново-глееватыми карбонатными песчаными почвами на древнеаллювиальных связных песках, сменяемых с глубины 0,3–0,5 м рыхлыми песками и дерново-глееватыми карбонатными супесчаными почвами на древнеаллювиальных рыхлых песчаных супесях, подстилаемых с глубины 0,5–0,8 м рыхлыми песками.

Среди класса гидроэдафогенных комплексов выделяются два подкласса: гидроэдафогенных кустарниково-луговых и гидроэдафогенных лесо-луговых комплексов. Подкласс гидроэдафогенных кустарниково-луговых комплексов включает одну группу комплексов – гидроэдафогенных кустарниково-луговых комплексов: а) лещиново-свидиновых сообществ и б) лугов злаково-разнотравных. Конкретный комплекс представлен чередованием лещиново-свидиново-неморально-разнотравных сообществ и тонкополевицево-разнотравных лугов и расположен в юго-восточной части МУ – в зоне развития вторичных коротко-производных кустарниковых (свидиновых) сообществ.

По своему внешнему облику ТЕ подкласса гидроэдафогенных лесо-луговых комплексов представляют собой мозаичное чередование редкоствольных злаковых

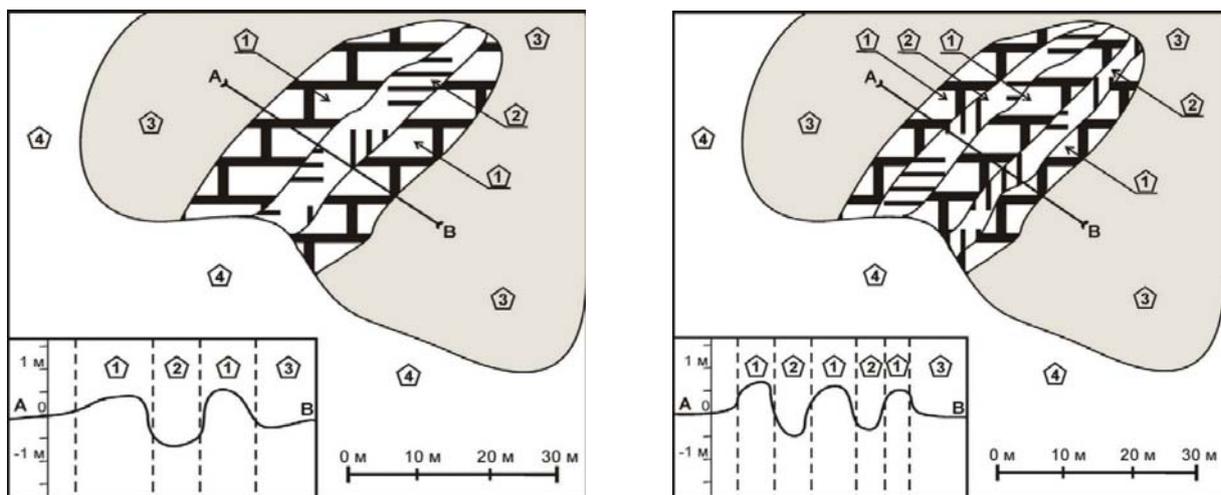


и злаково-разнотравных повислоберезовых и/или сосновых лесов и ксерофитных лугов с весьма нечеткими переходами и границами. Соотношение площадей лесных и безлесных фрагментов комплексов изменяется от 70 + 30% до 30 + 70%.

В границах фрагментов лесного и лугового типов растительности, слагающих комплексы этого подкласса, значительную роль играют мезоксерофильные и ксеромезофильные ивы: розмаринолистная, черничная, ушастая. В структуре комплексов доля фрагментов сообществ с участием данных видов ив может достигать 50%. При этом формируются типичные ксерофитно-ивняковые луговые и повислоберезовые фрагменты комплексов. В тех же случаях, когда РП ОДУ подвергается регулярному воздействию низовых пожаров, ивовый кустарниковый ярус практически не формируется. Флора в границах таких сообществ носит явные признаки ксерофитизации: наблюдается значительная представленность лесостепных и степных видов понтического и сарматского происхождения, а также доминирование ксерофитных и мезоксерофитных злаков.

Фрагменты злаково-разнотравной луговой растительности в составе ТЕ подкласса гидроэдафогенных лесолуговых комплексов зачастую изменены антропогенным воздействием (прежде всего – пирогенным), часто имеют вторичный характер, развиваясь на месте сведенных или сильно изреженных лесов. Травостой лугов довольно высокий (до 60 см), густой, степень проективного покрытия – до 100%. Характерно присутствие небольшого количества бетулярных мезофиллов. Являются типичными местами произрастания охраняемых видов флоры открытых местообитаний.

ТЕ класса геоморфогенных комплексов, включающего подкласс геоморфогенных лесных комплексов, представляют собой чередование сообществ или их фрагментов, приуроченных к элементам микрорельефа различного генезиса (узким грядам и межгрядовым понижениям с перепадом высот до 0,5 м), обычно во внутренних и припериферийных частях ОДУ. Число сопряженных форм микрорельефа в границах ТЕ данного класса невелико – три или пять в зависимости от конкретного местоположения (рисунок 3).



АБ – линия профиля; 1 – единицы растительного покрова на положительных элементах микрорельефа; 2 – единицы растительного покрова на отрицательных элементах микрорельефа; 3 – единицы растительного покрова вне геоморфогенных лесных комплексов; 4 – прилегающие к островному дендромассиву участки сельскохозяйственных угодий

Рисунок 3 – Схема взаиморасположения территориальных единиц растительного покрова подкласса геоморфогенных лесных комплексов (трех- и пятичленных) на соответствующих формах микрорельефа



Межрядовые понижения представляют собой неглубокие палеоводотоки, т. е. распространение указанного типа микрокомбинаций связано с территориями, испытывавшими некогда воздействие временных водотоков локального значения.

В условиях ОДУ подобные ТЕ не занимают значительной площади (для МУ «Днепробугский» – 4,58 га, или 2,51%). Они четко отражают геоморфологическую структуру ОДУ. Их специфический облик предопределяют мелкорядовые и ложбинные формы микрорельефа. Относительная высота гряд – 0,4–0,6 м (реже до 1,0 м), ширина – 3–8 м (иногда до 10,0 м), длина – 15–45 м. Ширина днищ ложбин в большинстве случаев меньше, чем гряд (1,5–7 м). Данные ТЕ наносятся на карту отдельным контуром и являются частью соответствующей ТЕ РП более высокого уровня.

Нами выделены две группы геоморфогенных лесных комплексов. Первая – геоморфогенные лесные комплексы: а) длительно производных повислоберезовых сообществ и б) коренных пушистоберезовых сообществ. На положительных формах микрорельефа отмечаются сообщества березняков мертвопокровных, разнотравных, редкотравных с неморальным разнотравьем, снытевых; в отрицательных – березняков сфагновых, крапивных, тростниково-крапивных, тростниковых. Различия между компонентами данной группы комплексов достаточно резкие. Слагающие их сообщества отличаются по флористическому составу и расположены в разных эколого-фитоценологических рядах, выделяемых по степени увлажнения и богатства почв.

Ко второй группе комплексов относятся геоморфогенные лесные комплексы: а) коренных дубовых сообществ и б) коренных мелколиственных сообществ. На положительных формах микрорельефа отмечаются сообщества дубняков и березняков снытевых, дубняков и ясенников редкотравных с неморальным разнотравьем, дубняков снытевых; в отрицательных – березняков тростниковых, березняков и черноольшанников крапивных. Сообщества представленных ассоциаций или их фрагментов более резко отличаются по флористическому составу и положению в фито-экологическом ряду, чем у предыдущей группы комплексов.

МПЭР являются довольно распространенным типом ТЕ РП ОДУ с пологими склонами без резких перепадов относительных высот, где происходит постепенное изменение режима увлажнения и трофности субстрата. МПЭР, связанные с изменением градиента любого абиотического фактора (в первую очередь – увлажнения), как правило, относятся к классу МПЭР склона. Им свойственно поясное расположение сообществ. Ввиду наличия на значительной части островных дендромассивов внутренних (анклавных) или полуоткрытых микрозападин, целесообразно выделение класса МПЭР западины. Расположение сообществ – радиально-кольцевое или разорвано-кольцевое. В общей структуре РП ОДУ доля МПЭР незначительна, однако в пределах отдельных конкретных ОДУ их участие может достигать более 30%.

В классе МПЭР склона в зависимости от степени увлажнения и наличия или отсутствия признаков былой или современной гидроморфности выделяются два подкласса. Первый подкласс – МПЭР склона, автоморфные, характерные для высоких, «плакородных» частей ОДУ в зоне достаточно выраженного изменения относительных высот. ТЕ второго подкласса охватывают пологие склоны с незначительными перепадами высот и наличием в строении почвенного профиля черт гидроморфизма.

ТЕ класса МПЭР западины отмечаются довольно редко, занимают небольшую площадь и аналогично классу МПЭР склона делятся на два подкласса. Первый подкласс – автоморфных МПЭР западины – характерен для небольших вытянутых замкнутых микрозападин в центральных частях островных дендромассивов с невысоким



уровнем перегиба склонов над днищем. Ширина данных ложбин варьирует от 30 до 50 м, длина – от 60 до 90 м. Уровень склонов западин выше центрального понижения на 0,4–0,6 м. Второй подкласс МПЭР – полугидро- и автоморфных западин – отмечается для более глубоких микрозападин с признаками застойного увлажнения. Относительный уровень краев округлой ложбины выше центра на 0,7–0,9 м.

Выводы

Растительный покров в границах МУ «Днепробугский» отличается выраженной неоднородностью, что затрудняет классификацию растительности и ее картирование с использованием лишь типологических единиц гомогенной растительности.

Учитывая, что в структуре РП до 25% площади островных мезоэкотопов занимают микрокомбинации сообществ и/или их фрагментов, система классификации растительности должна включать как фитоценотические, так и территориальные типологические единицы. Последние на модельном участке представлены комплексами растительных сообществ (около 90%) и микропоясными экологическими рядами (до 10%).

Сложная структура растительного покрова исследованного участка и территориальных аналогов, его неодинаковая устойчивость к антропогенному влиянию должны приниматься во внимание при планировании и осуществлении хозяйственных и природоохранных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холод, С.С. Современное состояние и перспективы геоботанического картографирования в ботаническом институте РАН / С.С. Холод, Т.К. Юрковская // Геоботаническое картографирование – 1992 / Акад. наук СССР, Бот. ин-т им. В.Л. Комарова ; отв. ред. Т.К. Юрковская, С.С. Холод. – СПб. : Наука. СПб изд. фирма, 1994. – С. 3–19.
2. Сочава, В.Б. Растительный покров на тематических картах / В.Б. Сочава. – Новосибирск : Наука, 1979. – 190 с.
3. Раменский, Л.Г. Введение в комплексные почвенно-ботанические исследования земель / Л.Г. Раменский. – М. : Сельхозгиз, 1938. – 619 с.
4. Сукачев, В.Н. Методические указания к изучению типов леса / В.Н. Сукачев, С.В. Зонн. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 145 с.
5. Галанин, А.В. Принципы организации растительного покрова / А.В. Галанин // Вестник Дальневосточного отделения АН СССР. – 1990. – № 2 (35). – С. 108–119.
6. Королюк, А.Ю. Опыт крупномасштабного картирования растительности Барабинской равнины с использованием АФС / А.Ю. Королюк // Крупномасштабное картографирование растительности : тез. докл. рабочего совещания / Ленинград, 14–15 февраля, 1989; АН СССР, Всесоюз. ботан. общ-во ; отв. ред.: С.С. Холод [и др.]. – Л. : АН СССР, ВБО, 1989. – С. 25–27.
7. Михальчук, Н.В. Морфоструктурные группы мезофитохор кальциевых ландшафтов Белорусского Полесья / Н.В. Михальчук // География в XXI веке: проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию геогр. фак. БГУ, Минск, 4–8 окт. 2004 г. – Минск, 2004. – С. 40–42.
8. Михальчук, Н.В. Геохимия почв микрокатен кальциевых ландшафтов (сравнительный аспект) / Н.В. Михальчук // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. – 2004. – № 3. – С. 98–103.



9. Мороз, В.А. Вылучэнне натуральных груповак тэрытарыяльных адзінак расліннага покрыва астраўных дэндромасіваў з выкарыстаннем кластарнага аналізу / В.А. Мороз // Весці БДПУ. Сер. 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2006. – № 2. – С. 50–52.

10. Мороз, В.А. Анализ структуры растительного покрова островных дендромассивов агроландшафтов Брестского Полесья / В.А. Мороз // Сахаровские чтения 2006 года: экологические проблемы XXI века : материалы 6-й Междунар. науч. конф., Минск, 18–19 мая 2006 г. : в 2 ч. / МГЭУ им. А.Д. Сахарова. – Минск, 2006. – Ч. 1. – С. 325–327.

11. Мороз, В.А. Оценка хронологической структуры островных дендромассивов агроландшафтов Брестского Полесья / В.А. Мороз // География в XXI веке: Проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию геогр. фак. БГУ, Минск, 4–8 окт. 2004 г. / редкол. И.И. Пирожник (отв. ред.) [и др.]. – Минск : 2004. – С. 43–45.

12. Юркевич, И.Д. Леса Белорусского Полесья (геоботанические исследования) / И.Д. Юркевич, Н.Ф. Ловчий, В.С. Гельтман. – Минск : Наука и техника, 1977. – 288 с.

N.V. Mikhailchuk, V.A.Moroz. Structure of the Vegetative Mantle of Depression-Carbonate-Island Mesocomplexes

The detailed characteristic of the vegetative mantle of the depression-carbonate-island complexes, based on the use of phytocenotic and territorial typological units is given in the article. The original classification of territorial typological units in the rank of micro combinations is offered. Complexes of vegetative communities and micro zone ecological numbers are considered as micro combinations.



УДК 528.92(282.243.613):004

С.М. Токарчук, О.В. Токарчук

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕЧНОГО БАССЕЙНА (НА ПРИМЕРЕ ТРАНСГРАНИЧНОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ)

В работе представлен опыт создания региональной географической информационной системы (ГИС) на примере гидроэкологической ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг. Раскрываются цели, задачи, функции ГИС, особое внимание уделяется основным этапам ее разработки и создания. Подробно раскрывается структура ГИС, состоящая из проектов трех уровней. Для каждого из проектов приводится схема организации данных. Раскрыты основные направления практического применения полученных результатов.

Географические информационные системы (ГИС) представляют собой интерактивные системы, способные реализовать сбор, систематизацию, хранение, обработку, оценку, отображение, распространение данных, а также получение на их основе новой информации и знаний о пространственно-временных явлениях [1; 2].

Одним из наиболее перспективных направлений в области геоинформационных систем в настоящее время является создание региональных ГИС, которые позволяют объединить многоуровневые и многоотраслевые информационные потоки с целью создания пространственно-временной модели региона, выработки и принятия управленческих решений в области природопользования и охраны окружающей среды [3; 4; 5; 6; 7].

В качестве объектов для региональных ГИС все чаще выступают бассейны рек [8; 9; 10; 11]. Большинство таких ГИС создаются по административному принципу: для территории речного бассейна в пределах национальных границ. В то же время бассейны многих рек разделены сразу между несколькими странами. Рациональное использование и охрана поверхностных вод в пределах таких бассейнов затруднены, что связано с отсутствием сведений обо всей территории в целом и административным подходом к решению данных проблем. Каждое государство в пределах национальной части бассейна вырабатывает свои подходы к мониторингу поверхностных вод, их рациональному использованию и охране, зачастую без связи с соответствующими мероприятиями в соседней стране. В то же время бассейн трансграничной реки является целостным образованием, функционирующим вне государственных границ, определяющими в его развитии являются законы природы, а не общества.

Одним из трансграничных бассейнов является бассейн реки Западный Буг, расположенный сразу в трех странах (Украина, Польша, Беларусь). Особенности географического положения бассейна позволяют выделить его особую трансграничную часть площадью 30 025 км², в пределах которой сток реки формируется на территории разных государств [12]. В настоящее время накоплено значительное количество информации о территории бассейна реки Западный Буг: природе региона, гидрологических характеристиках водных объектов, качестве вод, особенностях хозяйственного освоения территории и т. д. Однако данная информация рассредоточена, разнородна и во многих случаях несопоставима. Для выработки действенных мер по рациональному использованию и охране поверхностных вод данного трансграничного бассейна необходимо его комплексное изучение на надгосударственном уровне с использованием современных технологий, в частности геоинформационных систем.



Целью проведенного исследования являлось создание гидроэкологической ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг. Задачами, стоящими перед данной ГИС, являлись сбор, обработка, систематизация, хранение и оценка пространственных данных, характеризующих различные аспекты формирования поверхностных вод для получения обобщенной координатно-привязанной информации на региональном и локальном уровнях. Основными функциями ГИС являлись информационно-справочные, пространственного анализа и оптимизации.

Создание ГИС включало несколько основных этапов. Первый этап исследования включал разработку структуры ГИС. ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг характеризуется сложной многоярусной и многоуровневой структурой, в которой можно выделить внешний и внутренний блоки.

Внешняя структура ГИС состоит из проектов трех уровней. ГИС-проектом первого уровня является цифровая топографическая основа (ЦТО), составляющая базу для создания многих тем проектов следующих уровней. На втором уровне выделяются два ГИС-проекта: «Физико-географические условия формирования поверхностных вод», характеризующий неоднородность природных условий формирования поверхностных вод, и «Гидрологическая характеристика бассейна», включающий гидрологические характеристики рек бассейна. ГИС-проектом третьего уровня является итоговый оценочный блок «Рациональное использование и охрана поверхностных вод», носящий прикладной характер.

Внутренняя структура представляет схему хранения документов:

- блок «Data» включает статистические и расчетные базы данных (в виде Microsoft Excel, Access);
- блок «Layers» хранит основные шейп-файлы и слои;
- блок «Legends» содержит легенды к общегеографическим, тематическим, оценочным и синтетическим картам;
- блок «Raster» включает растровые карты, являющиеся основой для создания электронных карт;
- блок «Information» хранит текстовые файлы (источники данных, методики расчета оценочных показателей, краткий анализ оценочных карт и др.).

На втором этапе исследования в результате анализа существующих программных средств для создания ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг была выбрана инструментальная среда ArcView GIS 3.2 с дополнительным модулем расширений Spatial Analyst 2.0.

ArcView GIS относится к классу ГИС-вьюверов, однако для решения поставленных задач возможности программы являются достаточными, т. к. данный пакет может использоваться в различных сферах деятельности для визуализации, запроса и анализа любой пространственной информации.

Для решения поставленных задач использовался ряд встроенных модулей ArcView GIS 3.2, наиболее важными из которых являются Geoprocessing (используется для создания буферных зон, разбиения, пересечения, вырезания, объединения объектов разных тем), Legend Tool (используется при работе с легендой в компоновках), Database Access (обеспечивает непосредственный доступ к данным SDE), Geographic Transformer (решает проблемы привязки карт к географическим координатам). Из внешних модулей использовался ArcView Spatial Analyst, предназначенный для создания, отображения и анализа растровых данных в виде регулярной сетки (грид).

Третий этап настоящего исследования включал создание цифровой топографической основы (ЦТО).



В качестве топографической основы были взяты современные топографические карты масштаба 1:100 000. Основными критериями при выборе топографической основы являлись: возможность привязки к единой системе координат, детальное изображение структуры русловой сети, возможность выделения структур бассейнового строения, изображение площадных природных элементов топографической поверхности (озера, водохранилища, болота, леса), изображение важнейших социально-экономических элементов топографической поверхности (административные границы, населенные пункты, транспортная инфраструктура).

При создании ЦТО были допущены некоторые отступления от общих требований к созданию цифровых топографических карт. В частности, ЦТО содержит не все объекты, соответствующие масштабу и состоянию описываемой местности, т. к. некоторые объекты не несут смысловой нагрузки в данном исследовании. Например, отдельные социально-культурные объекты (церкви, памятники), линии электропередач, железнодорожные станции и др.

На основе анализа топографических карт масштаба 1:100 000 и классификатора, предназначенного для бумажных карт, была составлена модель топографической основы гидроэкологической ГИС (таблица 1).

Таблица 1 – Схема организации данных цифровой топографической основы

Группа данных (Вид)	Структурная схема данных (Тема)		
	название	тип	атрибуты
Населенные пункты	города	полигональный	ID, название, страна, статус, площадь, численность населения
	поселки городского / сельского типа	точечный	
Дороги	железные дороги	линейный	ID, направление, длина
	автомобильные дороги	линейный	ID, номер, длина, тип покрытия
Гидрография	реки	линейный	ID, название, длина
	каналы	линейный	ID, название, длина
	урезы воды	точечный	ID, абсолютная высота
	озера	полигональный	ID, название, площадь водного зеркала, глубина
	водохранилища	полигональный	ID, название, тип водохранилища, основное назначение, площадь зеркала при НПУ, объем воды
Рельеф	горизонталы высот	интерполяционная поверхность	Высота сечения рельефа
	отметки высот	точечный	ID, абсолютная высота
Растительный покров и грунты	леса	полигональный	ID, площадь
	болота	полигональный	
	пески	полигональный	
Административно-территориальное деление	страны	полигональный	ID, название, площадь
	административные единицы	полигональный	ID, вид, название, площадь



На четвертом этапе создания гидроэкологической ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг выполнялись ГИС-проекты второго уровня: «Физико-географические условия формирования поверхностных вод» и «Гидрологическая характеристика бассейна». Данный этап включал четыре основных вида работ.

Первоначально были сформированы макеты ГИС-проектов второго уровня (таблица 2).

Таблица 2 – Схема организации данных ГИС-проектов второго уровня

Проект	Вид	Темы
ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД	Геологическое строение	«Тектоника», «Дочетвертичные отложения», «Четвертичные отложения», «Мощность четвертичных отложений», «Глубина залегания грунтовых вод», «Районирование по характеру четвертичных отложений»
	Рельеф	«Густота расчленения рельефа», «Глубина расчленения рельефа», «Геоморфологическое районирование»
	Климат	«Метеостанции», «Атмосферные осадки», «Температура воздуха», «Снежный покров», «Климатическое районирование»
	Почвенно-растительный покров	«Генетические типы почв», «Почвенное районирование», «Леса», «Болота», «Геоботаническое районирование»
	Физико-географическое районирование	«Физико-географическое районирование Беларуси, Украины и Польши», «Схема физико-географического районирования бассейна», «Охраняемые территории»
ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНА	Структуры гидрографической сети	«Современные порядки водотоков», «Водотоки изменившие порядок»
	Структура бассейнового строения	«Элементарные структуры бассейнового строения», «Малые водосборы», «Бассейны основных притоков», «Структура бассейнового строения»
	Характеристики водного режима бассейна	«Гидрологические посты», «Водосборы гидрологических постов», «Объем стока», «Слой стока», «Модуль стока», «Гидрологическое районирование»
	Характеристики качества вод	«Пункты мониторинга качества вод», «Водосборы пунктов мониторинга качества вод», «Качество вод»

Далее был организован сбор и обработка растрового картографического материала. На данном подэтапе были выполнены следующие виды работ:

– изучены и проанализированы литературные и картографические источники, содержащие картографический материал, характеризующий физико-географические условия формирования поверхностных вод и гидрологическую характеристику бассейна;



– картографічныя матэрыялы былі отсканіраваны і захараны;
– дапаўняльна к сабраннаму растроваму картографічнаму матэрыялу складана база даных Microsoft Access, змяшчаючая наступныя інфармацыйныя палі, характэрызуючыя кожную карту: нумар, названне, год складання, маштаб, аўтары, картографічны (літэратурны) істочнік, месцаполажэнне электроннага варыянта карты в ГИС;
– выканана прывязка растровах наборох даных к географічнай сістэме координат.

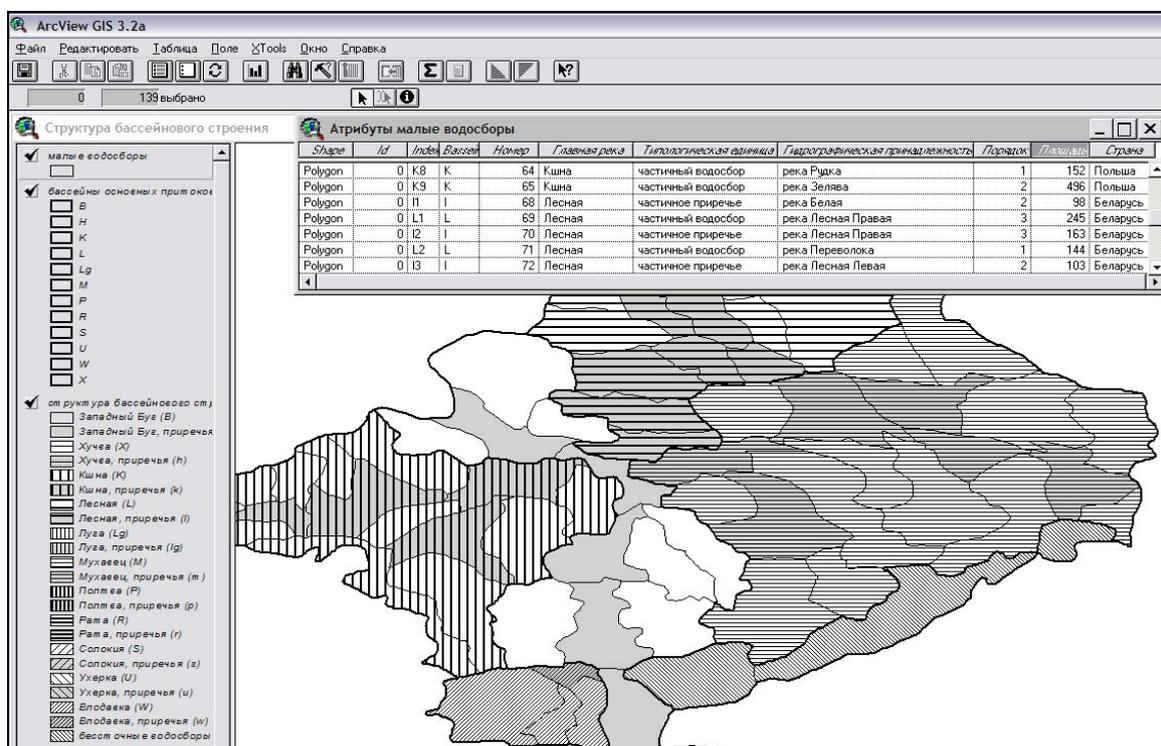
Наступны падэтап іследавання прадпалагал перавод в цифровую форму растровах картографічных ізабражэннях і вклучал наступныя работы:

– сабранная растрова картографічная інфармацыя на аснове геаінфармацыйных тэхналогій (преимущественно проводилась оцифровка изображения on-screen с помощью мыши) была переведена в электронную форму;

– векторізаваныя карты былі захараны в віде групы файлах (*.dbf – файл храніт атрыбутыўныя даныя аб'ектаў, *.shp – файл храніт інфармацыю о прастранстваных даных (геометрыі координат) аб'ектаў, *.shx – файл храніт індэкс геометроіі аб'ектаў) для далейшага іследавання в якасстве рабочых слоёв в ArcView GIS;

– былі створаны атрыбутыўныя тэблцы оцифраваных тэм: ввадзілісь вручную лібо с дапамога механізма SQL-с'ядінення. Іследавалісь заране створаныя ключавыя палі, г'лаўным абразом парадкавы нумар (ID) ілі названне аб'екта (Name, Index).

На заключітэльным падэтапе оцифраваныя карты былі распалажаны в ГИС, сагласно разрабатаннаму структуе. На рысунке 1 прадставлен вад «Структура басейнавага стравення» ГИС-праекта втэраго ўр'овня «Гідрологічная характэрыстыка басейна», котары явлітэся асновой для стравення большына прыкладных вад ГИС.



Рысунк 1 – Вад «Структура басейнавага стравення» с атрыбутыўнай тэблцай тэмы «Малыя вадасборы»



Пятый этап разработки и создания ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг включал работы над ГИС-проектом третьего уровня «Рациональное использование и охрана поверхностных вод» (таблица 3).

Таблица 3 – Схема организации данных ГИС-проекта «Рациональное использование и охрана поверхностных вод»

Вид	Темы
Комплексная оценка экологического состояния малых водосборов	«Водоносность», «Лесистость», «Болотистость», «Озерность», «Густота русловой сети», «Распаханность», «Доля городских территорий», «Средняя плотность сельского населения», «Экологическая устойчивость», «Экологическая опасность», «Экологическое состояние»
Точечные объекты загрязнения вод	«Промышленные предприятия», «Сельскохозяйственные предприятия», «Предприятия жилищно-коммунального хозяйства»
Предложения по улучшению мониторинга, рациональному использованию и охране поверхностных вод малых водосборов	«Водосборы фонового мониторинга», «Вижильные водосборы», «Дополнительные пункты мониторинга», «Мероприятия по рациональному использованию и охране»

Первоначально на основании анализа литературных источников была разработана методика комплексной экологической оценки малых водосборов трансграничной части бассейна р. Западный Буг, включающая оценку экологической устойчивости и потенциальной экологической опасности, а также методические подходы к формированию предложений по улучшению мониторинга, рациональному использованию и охране поверхностных вод трансграничной части бассейна р. Западный Буг. Согласно разработанной методике была сформирована система информационных показателей – индикаторов состояния и оценки малых водосборов. Были выбраны четыре показателя для оценки экологической устойчивости (средний многолетний расход воды в замыкающем створе, лесистость, болотистость, озерность) и четыре – для оценки потенциальной экологической опасности (густота русловой сети, распаханность, доля городских территорий, средняя плотность сельского населения). Данный выбор обусловлен региональным характером исследования, т. е. большим охватом территории и существенными различиями природных и антропогенных условий. Необходимые данные были структурированы в базах данных Access и таблицах Excel.

Далее на основании сформированных баз данных, а также карт, входящих в топографическую основу ГИС, была разработана методика создания синтетических оценочных карт.

Синтетические карты представляют собой картосхемы, созданные на уровне малых водосборов трансграничной части бассейна р. Западный Буг с использованием разных способов ранжирования (преимущественно равнопромежуточного и естественных границ). Основными используемыми типами легенды являются градуированная шкала, методы локализованных диаграмм и уникального значения.

Большинство синтетических оценочных карт были созданы с использованием атрибутивных баз данных. В данном случае использовался встроенный модуль расши-



рений ArcView GIS DataBase Access, с помощью которого посылались стандартные SQL-запросы базам данных, в частности базам данных Access либо Excel (рисунок 2).

Имя поля	Тип данных	Описание
Index	Текстовый	Обозначает бассейновую принадлежность, тип и очередность малых водосборов (индексы соответствуют таблице "Малые водосборы")
Q	Числовой	Средний многолетний расход воды в заыкающем створе малого водосбора, м3/с
клес	Числовой	Доля лесов от общей площади малого водосбора, %
кбол	Числовой	Доля болот от общей площади малого водосбора, %
коз	Числовой	Доля озер от общей площади малого водосбора, %
друсл	Числовой	Густота русловой сети в пределах малого водосбора, км/км2
красп	Числовой	Доля пашни от общей площади малого водосбора, %
курб	Числовой	Доля городских территорий от общей площади малого водосбора, %
русл	Числовой	Усредненная плотность сельского населения, чел/км2

Index	Q	клес	кбол	коз	друсл	красп	курб	русл
b1	3,1	6,03	0,29	0,15	1,74	58,95	0,88	61
B1	1,32	38,35	0	0,04	0,73	38,8	0	39
b2	15,06	27,36	0,28	0,13	1,41	46,81	0,64	48
B2	1,46	15,29	0	0,96	1,01	51,4	2,12	80
b3	16,54	28,74	0,18	2,42	1,27	45,82	0,42	52
B3	0,6	17,13	0,09	0,01	1,67	51,94	1,14	22
b4	25,37	34,01	0,35	0,34	1,19	41,45	0,37	34
B4	0,5	14,29	0,05	0,53	1,43	57,16	0	35
b5	31,21	5,41	2,84	1,37	0,71	52,88	3,24	59
B5	0,41	15,98	0,16	0,12	1,19	54,6	2,41	68
b6	32,61	20,25	0,79	0,23	0,79	55,82	0	25
B6	0,35	79,32	0,19	0,05	0,73	13,72	0	0
b7	35,3	5,26	1,31	0,25	0,92	77,03	0,53	49
B7	1,11	21,77	1,33	0,17	0,77	49,49	0	41
b8	41,4	4,89	1,23	0,07	0,87	74,67	0	57
B8	0,89	10,74	0,39	0,11	0,51	53,85	0	55
b9	45,31	14,84	0,88	0,19	0,81	66,92	0	65
B9	0,81	11,29	0,37	0,12	0,82	64,34	0	44
b10	47,2	39,52	1,91	0	0,73	47,49	0	23
B10	0,75	17,88	0,27	0,04	1,07	69,66	0	40
b11	49,8	15,14	2,46	1,32	0,74	50,97	0	32
B11	0,5	2,42	1,01	0,24	0,64	71,21	4,49	68
b12	51,89	28,42	5,42	0,23	0,99	42,51	0	34
B12	0,79	19,23	1,08	0,19	1,08	59,25	0	19
b13	52,2	41,77	5,07	0,79	0,76	30,19	0	31

Рисунок 2 – База данных Access вида «Комплексная оценка экологического состояния малых водосборов»

Остальные оценочные карты были построены на основе тематических карт, представленных в топографической основе ГИС с использованием модуля пространственных операций (GeoProcessingWizard).

На рисунке 3 представлен вид «Комплексная оценка экологического состояния малых водосборов». В частности, с использованием метода пятиуровневого равноинтервального ранжирования и способов заливки и штриховки получена компоновка результатов оценки экологической устойчивости и экологической опасности малых водосборов.

Таким образом, разработанная концепция создания гидроэкологической ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг является научнообоснованной, прошла апробацию и может служить основой проведения аналогичных исследований для других трансграничных бассейнов.

Полученные на основе описанной ГИС данные могут использоваться для информирования государственных и общественных организаций и населения об экологи-



ческом состоянии территории бассейна реки Западные Буг. Они могут быть представлены в виде текстовых документов, таблиц, карт, диаграмм, графиков и др.

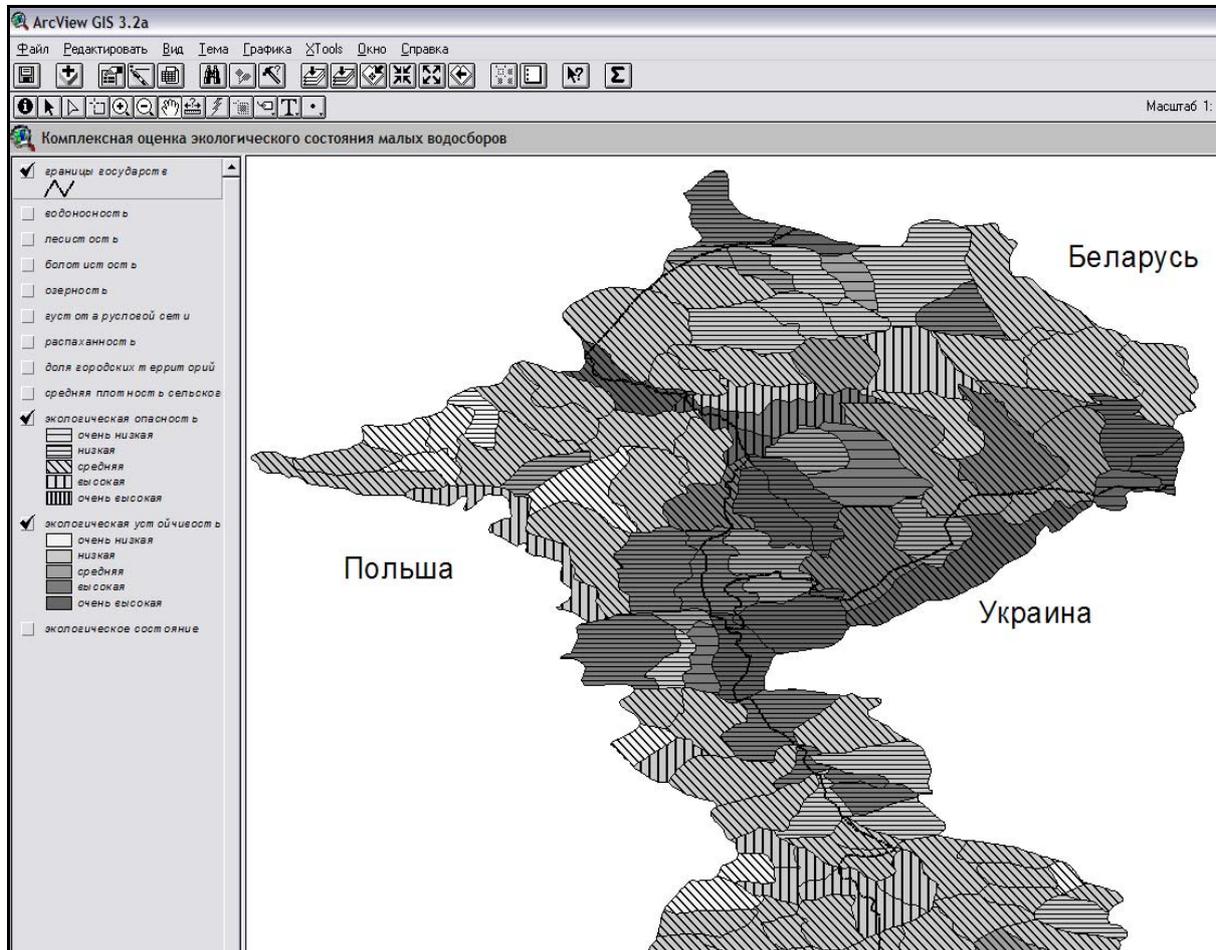


Рисунок 3 – Вид «Комплексная оценка экологического состояния малых водосборов» (компоновка тем «Экологическая устойчивость» и «Экологическая опасность»)

Социально-экономическая значимость полученных результатов определяется выделением на основе разработанной ГИС малых водосборов с разной степенью экологической устойчивости и опасности, разработкой предложений по совершенствованию мониторинга, рациональному использованию и охране поверхностных вод.

В перспективе разработанная геоинформационная система будет периодически обновляться и модернизироваться, что позволит в дальнейшем проводить анализ динамики основных гидроэкологических показателей на территории трансграничной части бассейна реки Западный Буг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тикунов, В.С. Современные средства исследования системы «Общественно-природная среда» / В.С. Тикунов // Известия ВГО. – 1989. – Т. 121, вып. 4. – С. 299–306.



2. Митчел, Э. Руководство ESRI по ГИС анализу: Географические закономерности и взаимодействия / Э. Митчел. – М. : DATA+, 1999. – 191 с.
3. Электронное атласное картографирование для обеспечения устойчивого развития регионов Сибири / В.А. Снытко [и др.] // География и природ. ресурсы, 2003. – № 3. – С. 16–26.
4. Новик, С.М. Формирование и структура ГИС «Геоэкологическая оценка природно-ресурсного потенциала региона» / С.М. Новик // Известия Белорусской инженерной академии. – 2004. – № 1 (17)/2. – С. 268–271.
5. Витченко, А.Н. Использование ГИС-технологий при геоэкологических исследованиях / А.Н. Витченко, А.А. Витченко // География в XXI веке: Проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию геогр. фак. БГУ, Минск, 4–8 окт. 2004 г. / редкол. И.И. Пирожник (отв. ред.) [и др.]. – Минск : 2004. – С. 79–81.
6. Чиж, Д.А. Применение геоинформационных технологий при составлении схемы землеустройства административного района / Д.А. Чиж, К.К. Коршунов // Рэгіянальная геаграфія: Праблемы развіцця і выкладання : зборнік навуковых артыкулаў / пад рэд. М.І. Вішнеўскага. – Магілёў : МДУ імя А.А. Куляшова, 2004. – С. 200–202.
7. Лукьянчикова, О.Г. Геоинформационная система гидрологического назначения в Самарской области / О.Г. Лукьянчикова, Ф.Ю. Васильчиков, Л.К. Ульянкина // ArcReview. – 2006. – № 1 (36). – С. 10.
8. Высоченко, А.В. Опыт создания Атласа экологических карт бассейнов рек / А.В. Высоченко, Ж.А. Капилевич // ArcReview. – 2003. – № 1 (24). – С. 22.
9. Геладзе, А.В. Геоинформационная система бассейна р. Арагви / В. Геладзе [и др.] // ArcReview. – 2004. – № 4 (31). – С. 9.
10. Алексеев, В.В. Геоинформационная система мониторинга водных объектов и нормирования экологической нагрузки / В.В. Алексеев, Н.И. Куракина, Н.В. Орлова // ArcReview. – 2006. – № 1 (36). – С. 9.
11. Самойленко, В.М. Стратегія створення ГІС транскордонного басейну Дунаю / В.М. Самойленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія : наук. збірн. / відп. ред. В.К. Хільчевський. – К. : Обрії, 2004. – Т. 6. – С. 20–31.
12. Токарчук, О.В. Гидрологическая характеристика трансграничной части бассейна реки Западный Буг / О.В. Токарчук // Весн. Брэсцкага у-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2008. – № 2. – С. 114–125.

S.M. Tokarchuk, O.V. Tokarchuk. Experience of Creation of Hydroecological Geoinformation System of River Basin (on the Example of Transboundary Part the Basin of River Western Bug)

The article describes the experience of creation of regional geographical information system (GIS) on the example of GIS of transboundary part of the river Western Bug basin. The paper views the aim, tasks, function of GIS. The special attention is given to the basic stages of its development and creation. GIS structure consists of projects of three levels. The data structure scheme is given for each of projects. The basic directions of practical application of the received results are disclosed.

ЗВЕСТКІ АБ АЎТАРАХ

- Абрамава І.В.** – кандыдат біялагічных навук, дацэнт, загадчык кафедры фізічнай геаграфіі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Арыцменка С.В.** – кандыдат геаграфічных навук, дацэнт, загадчык кафедры сацыяльна-эканамічнай геаграфіі і турызму БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Бардон У.Я.** – кандыдат геолога-мінералагічных навук, вядучы навуковы супрацоўнік Беларускага навукова-даследчага геологаразведачнага інстытута.
- Бондар Ю.У.** – аспірант кафедры батанікі і экалогіі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Валасюк С.М.** – аспірант кафедры батанікі і экалогіі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Волчак А.А.** – доктар геаграфічных навук, прафесар, дэкан факультэта водазабеспячэння і гідрамеліярацыі БрДТУ.
- Гайдук В.Е.** – доктар біялагічных навук, прафесар кафедры заалогіі і генетыкі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Зяркаль С.У.** – кандыдат біялагічных навук, дацэнт, загадчык кафедры батанікі і экалогіі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Колбас А.П.** – аспірант кафедры батанікі і экалогіі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Костка У.С.** – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт кафедры агульнай фізікі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Левыкіна Л.А.** – студэнтка біялагічнага факультэта БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Мадорскі В.М.** – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт кафедры інфарматыкі і прыкладной матэматыкі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Мароз В.А.** – выкладчык кафедры фізічнай геаграфіі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Матысік А.В.** – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт, загадчык кафедры алгебры і геаметрыі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Махнач М.А.** – кандыдат геолога-мінералагічных навук, вядучы навуковы супрацоўнік лабараторыі літалогіі і геахіміі Інстытута геахіміі і геафізікі.
- Мацвееў А.В.** – доктар геолога-мінералагічных навук, прафесар, акадэмік НАН Беларусі, галоўны навуковы супрацоўнік лабараторыі геадынамікі і палеагеаграфіі Інстытута прыродакарыстання НАН Беларусі.
- Міхальчук М.В.** – кандыдат біялагічных навук, дацэнт, дырэктар Палескага аграрна-экалагічнага інстытута НАН Беларусі.
- Мяшэчка Я.М.** – кандыдат геаграфічных навук, прафесар, загадчык кафедры гаграфіі Беларусі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Нечыпарэнка Л.А.** – кандыдат геолога-мінералагічных навук, вядучы навуковы супрацоўнік лабараторыі геадынамікі і палеагеаграфіі Інстытута прыродакарыстання НАН Беларусі.
- Нікіцюк Д.У.** – студэнт геаграфічнага факультэта БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Плецохоў У.А.** – доктар фізіка-матэматычных навук, прафесар кафедры тэарэтычнай фізікі і астраноміі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Саванеўскі М.К.** – кандыдат біялагічных навук, дацэнт кафедры анатоміі, фізіялогіі і бяспекі чалавека БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Саўчук В.Ф.** – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт, загадчык кафедры інфарматыкі і прыкладной матэматыкі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Такарчук А.В.** – выкладчык кафедры географіі Беларусі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Такарчук С.М.** – кандыдат геаграфічных навук, дацэнт кафедры фізічнай географіі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Хоміч Г.Я.** – кандыдат біялагічных навук, дацэнт кафедры анатоміі, фізіялогіі і бяспекі чалавека БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Шпока І.М.** – лабарант кафедры географіі Беларусі БрДУ імя А.С. Пушкіна.
- Шык А.С.** – кандыдат сельскагаспадарчых навук, дацэнт кафедры батанікі і экалогіі БрДУ імя А.С. Пушкіна, вядучы навуковы супрацоўнік Палескага аграрна-экалагічнага інстытута НАН Беларусі.
- Шэшка М.М.** – асістэнт кафедры сельскагаспадарчых гідратэхнічных меліярацый БрДТУ.

Да ведама аўтараў

Рэдкалегія зборніка навуковых прац «Вучоныя запіскі» разглядае рукапісы толькі тых артыкулаў, якія адпавядаюць навуковаму профілю выдання, нідзе не апублікаваныя і не перададзеныя ў іншыя рэдакцыі.

Артыкулы прадстаўляюцца на беларускай, рускай ці англійскай мовах ў двух экзэмплярах аб'ёмам ад 0,5 да 0,75 друкарскага аркуша і ў электронным варыянце на дыскеце 3,5 дм. у фармаце Microsoft Word for Windows (*.doc; *.rtf) і павінны быць аформлены ў адпаведнасці з наступнымі патрабаваннямі:

- папера фармату А4 (21х29,7 см);
- палі: зверху – 2,8 см, справа, знізу, злева – 2,5 см;
- шрыфт – гарнітура Times New Roman;
- кегль – 12 pt.;
- міжрадковы інтэрвал – адзінарыны;
- двукоссе парнае «...»;
- абзац: водступ першага радка 1,25 см;
- выраўноўванне тэксту па шырыні.

Максімальныя лінейныя памеры табліц і малюнкаў не павінны перавышаць 15х23 см або 23х15 см. Усе графічныя аб'екты, што ўваходзяць у склад аднаго малюнка, павінны быць згрупаваны паміж сабой. Размернасць усіх велічынь, якія выкарыстоўваюцца ў тэксце, павінна адпавядаць Міжнароднай сістэме адзінак вымярэння (СВ). Забараняюцца скарачэнні слоў, акрамя агульнапрынятых.

Спіс літаратуры павінен быць аформлены паводле ДАСТА 7.1-2003. Спасылкі на крыніцы ў тэксце артыкула абазначаюцца парадкавым нумарам спіса літаратуры у квадратных дужках. Напрыклад: [8, с. 32]. Забараняецца выкарыстанне *канцавых зносак*.

Артыкул уключае наступныя элементы па парадку:

- індэкс УДК;
- ініцыялы і прозвішча аўтара (аўтараў);
- назва друкуемага матэрыялу;
- анатацыя ў аб'ёме каля 500 сімвалаў на мове артыкула (кегль - 10 pt.);
- асноўны тэкст з табліцамі, графікамі і іншымі ілюстрацыйнымі матэрыяламі;
- бібліяграфічныя спісы да артыкула ў адпаведнасці з ДАСТАм 7.1-2003;
- анатацыя на англійскай мове (кегль – 10 pt.) з перакладам назвы артыкула, прозвішча і ініцыялаў аўтара (аўтараў) і назвы друкуемага матэрыялу.

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- звесткі пра аўтара на мове артыкула і *беларускай* мове (прозвішча, імя, імя па бацьку поўнасю, вучоная ступень і званне, месца працы (вучобы) і пасада, хатні адрас і тэлефон);
- для аспірантаў і суіскальнікаў – звесткі аб навуковых кіраўніках;
- рэкамендацыя калегіяльнага органа ўстанова (падроздзялення), дзе працуе (вучыцца) аўтар;
- рэкамендацыя знешняга рэцэнзента;
- экспертнае заключэнне аб магчымасці адкрытай публікацыі.

Рэдакцыйная калегія часопіса праводзіць экспертызу атрыманых дакументаў і можа рабіць дадатковае рэцэнзаваанне артыкулаў.

Рукапісы, аформленыя не ў адпаведнасці з выкладзенымі правіламі, рэдакцыяй не разглядаюцца.

У зборніку артыкулы друкуюцца на беларускай, рускай і англійскай мовах у залежнасці ад мовы аўтарскага арыгінала.

Камп'ютэрнае макетаванне *Кулай А.Я., Мініч С.М.*
Карэктары *Калілея Л.М., Селюжыцкая Ж.М., Шкапіч Т.І.*

Подписано в печать 09.12.2009. Формат 60х84/8. Бумага офсетная.
Гарнітура Таймс. Ризографія. Усл. печ. л. 19,53. Уч.-изд. л. 16,03.

Тираж 100 экз. Заказ № 689.

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина».
224016, Брест, ул. Мицкевича, 28.
ЛИ № 02330/277 от 30.04.2004.