

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

Вучоныя

запіскі

Брэсцкага ўніверсітэта

Зборнік навуковых прац

Выпуск 11

Частка 2

Прыродазнаўчыя навукі

Брэст • 2016

Заснаваны ў 2005 годзе

Галоўны рэдактар

А.М. Сендзер

Намеснікі галоўнага рэдактара:

С.А. Марзан (*гуманітарныя і грамадскія навукі*)

А.Я. Будзько (*прыродазнаўчыя навукі*)

Рэдакцыйны савет:

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

Міжнародны савет:

А.А. Афонін (Расія), **В.Р. Бязрогаў** (Расія), **Ф.Я. Васілюк** (Расія), **В.А. Главан** (Молдова),
Марцін Грабэ (Германія), **М.М. Громаў** (Расія), **В.В. Дзікусар** (Расія), **Андраш Золтан** (Венгрыя),

В.А. Несцяроўскі (Украіна), **Ежы Нікітаровіч** (Польшча), **Антон Мірановіч** (Польшча),

Б.В. Саліхаў (Расія), **В.Г. Самойленка** (Украіна), **Станіслаў Рудальф** (Польшча),

Фелікс Чыжэўскі (Польшча), **Антані Юўка** (Польшча) **П.М. Ямчук** (Украіна), **Эдвард Ярмох** (Польшча)

Рэдакцыйная калегія:

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

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

У.В. Амелькін, С.В. Арцёменка, М.А. Багдасараў, В.Ф. Байнёў, В.У. Будкевіч, А.М. Вабішчэвіч,
І.Я. Валітава, В.М. Ватыль, П.А. Вадап'янаў, А.М. Вітчанка, А.А. Волчак, Т.А. Гарупа, А.А. Гарбацкі,
А.М. Грыгаровіч, А.А. Гужалоўскі, А.Л. Гулевіч, Т.І. Доўнар, М.П. Жыгар, Г.А. Зорын, В.І. Іўчанкаў,
М.С. Кавалевіч, Т.А. Кавальчук, Ч.С. Кірвель, У.Л. Ключня, П.П. Крусь, У.У. Лосеў, А.А. Лукашанец,
М.І. Ляўчук, В.С. Манахаў, І. П. Мартынаў, А.А. Махнач, А.В. Мацвееў, У.А. Плецюхоў, Я.В. Радына,
С.В. Рашэтнікаў, Д.Г. Ротман, В.Ф. Русецкі, А.А. Савіч, У.В. Салтанаў, М.Н. Сендзер, У.С. Секяржыцкі,
У.А. Сенькавец, Я.У. Скакун, А.С. Сляповіч, В.А. Сцепановіч, В.І. Сянкевіч, М.М. Труш, Л.Р. Цітарэнка,
А.В. Чычурын, І.А. Швед, Я.К. Ялавічава, У.А. Янчук, Я.С. Яскевіч

Адрас рэдакцыі:

224665, г.Брэст, бульвар Касманаўтаў, 21

тэл.: 21-72-07

e-mail vesnik@brsu.brest.by

ISBN 978-985-555-433-3 (ч. 2)
ISBN 978-985-555-431-9

© УА «БрДУ імя А.С. Пушкіна», 2015

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

Proceeding

of Brest University

Collection of Scientific Works

Issue 11

Part 2
Natural Sciences

Brest • 2016

Founded 2005

Editor-in-chief

A.N. Sender

Editor-in-chief Deputies

S.A. Marzan (*the humanities and social sciences*)

A.Ya. Budzko (*natural sciences*)

Editorial council:

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

International council:

A.A. Afonin (Russia), V.G. Bezrogov (Russia), F.Ya. Vasilyuk (Russia), Martin Grabe (Germany),
V.A. Glavan (Moldova), V.V. Dzikusar (Russia), M.M. Gromov (Russia), Andrash Zoltan (Hungary),
V.A. Nesterovski (Ukraine), Ezhy Nikitarovich (Poland), Anton Miranovich (Poland), B.V. Salikhov,
V.G. Samoilenko (Ukraine), Stanislav Rudalf (Poland), Felix Chizhevski (Poland), Antani Yuyka (Poland),
P.M. Yanchuk (Ukraine), Edvard Yarmokh (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, V.U. Budkevich, A.M. Vabishchevich,
I.Ya. Valitova, V.N. Varyl, A.N. Vitchenko, P.A. Vadapyanov, A.A. Volchak, T.A. Garupa,
A.A. Garbatski, A.M. Grigorovich, A.A. Guzhalovski, A.L. Gulevich, T.I. Dovnar, M.P. Zygar, G.A. Zoryn,
V.I. Ivchankov, M.S. Kovalevich, T.A. Kovalchuk, C.S. Kirvel, U.L. Klyunya, P.P. Krus, V.V. Losev,
A.A. Lukashanets, M.I. Levchuk, V.S. Manakhav, Y.F. Martynov, A.A. Makhnach, A.V. Matveev,
U.A. Pletsukhov, Y.V. Radyno, S.V. Reshetnikov, D.G. Rotman, V.F. Rusetski, A.A. Savich,
V.V. Saltanov, N.N. Sender, V.S. Sekerzhitski, V.A. Senkovets, E.V. Skakun, E.S. Slepovich,
V.A. Stepanovich, V.I. Senkevich, N.N. Trush, L.R. Tsitarenka, A.V. Chichurin, I.A. Shved,
Y.K. Yalovicheva, U.A. Yanchuk, Y.S. Yaskevich

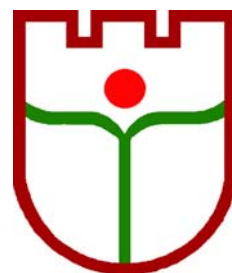
Publishing house address:

224665, Brest, Bulvar Kosmonavtov, 21

tel.: 21-72-07

e-mail vesnik@brsu.brest.by

Вучоныя запіскі



Брэсцкага ўніверсітэта

ЗБОРНИК НАУКОВЫХ ПРАЦ

2015 • Вып. 11 • Ч. 2

Змест

МАТЭМАТЫКА

Грицук Д.В. Производная π -длина конечных π -разрешимых групп, у которых обобщенный коммутант π -холловой подгруппы нильпотентен..... 9

Матысик О.В., Савчук В.Ф. Неявный итерационный процесс решения некорректных задач с остановом по поправкам..... 15

ФІЗІКА

Секержицкий В.С. Термодинамическое описание крайне вырожденного идеального релятивистского электронного газа в магнитном поле..... 22

ХІМІЯ

Ступень Н.С. Модифицирующие добавки в магнезиальный цемент..... 30

БІЯЛОГІЯ

Гайдук В.Е., Блоцкая Е.С., Абрамова И.В. Распространение, биотопическое распределение и численность рыбообразных в юго-западной Беларуси 38

Климец Е.П., Мартысюк И.А. История фенетико-географических исследований колорадского жука (*leptinotarsa decemlineata say*)..... 51

Матусевич Н.М., Жигар М.П. Отличительные особенности структуры черешков некоторых видов люпина 61

Шкуратова Н.В., Зеркаль С.В. Синтаксическая структура дендро- и бριοфлоры мемориального комплекса «Брестская крепость-герой»..... 66

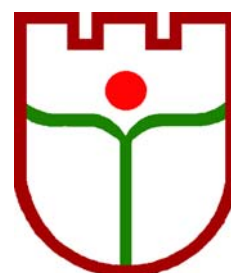
НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

Богдасаров М.А., Гречаник Н.Ф. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна реки Ясельда	75
Никитюк Д.В. Особенности формирования Брестского регионального туристского кластера	87
Волчек А.А., Образцов Л.В., Парфомук С.И. Водные ресурсы Беларуси и их возможные изменения	96
Рудько Г.И. Научные и методологические основы биогеологии.....	104
Токарчук О.В., Трофимчук Е.В. Электронный эколого-гидрографический атлас Брестской области	121
Шелест Т.А. Выдающиеся дождевые паводки на реках Беларуси.....	130

ПАДЗЕІ

Ленивко С.М. К 80-летию Василия Емельяновича Гайдука	142
---	-----

Proceedings



of Brest University

COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS

2015 • Issue 11 • Part 2

Contents

MATHEMATICS

Gritsuk D.V. The Derived π -length of a π -solvable Group in which Generalized Derived Subgroup of a π -Hall Subgroup is Nilpotent 9

Matysik O.V., Savchuk V.F. Implicit Iteration Process of Solving Ill-Posed Problem with Stopped the Amendment 15

PHYSICS

Sekerzhitsky V.S. The Thermodynamics Description of Extremely Degenerate Ideal Relativistic Electron Gas in Magnetic Field 22

CHEMISTRY

Stupen N.S. Modifying Additives in Magnesia Cement 30

BIOLOGY

Gaiduk V.E., Blockaja E.S., Abramova I.V. Dissemination, Habitat Distribution, Abundance Fichlike in the South-western Belarus 38

Klimetc E.P., Martysyuk I.A. History Phenetics-Geographical Research Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa Decemlineata* Say) 51

Matusevich N.M., Zhigar M.P. Features Structure Petioles Certain Lupin 61

Shkuratova N.V., Zerkal S.V. Syntactic Structures of Dendroflora and Bryoflora of Memorial Complex «Brest Hero Fortress» 66

SCIENCES ON EARTH

Bogdasarov M.A., Grechanic N.F. Geological Structure and Mineral Resources of the Basin of the River Yaselda.....	75
Nikityuk D.V. Features of Formation of the Brest Regional Tourism Cluster	87
Volhek A.A., Obraztsov L.V., Parfomuk S.I. Water Resources of Belarus and Their Possible Changes	96
Rudko G.I. Scientific and Methodological Foundations of Biogeology	104
Tokarchuk O.V., Trofimchuk E.V. Electronic Ecological-Hydrographical Atlas of Brest Region	121
Shelest T.A. Outstanding Rainfall Floods on the Rivers of Belarus	130

EVENTS

Lenivko S.V. To 80th Anniversary of Vasilii Emeliyanovich Gaiduk	142
---	-----



УДК 512.542

Д.В. Грицук

канд. физ.-мат. наук,

ст. преподаватель каф. алгебры, геометрии и математического моделирования
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

**ПРОИЗВОДНАЯ π -ДЛИНА КОНЕЧНЫХ π -РАЗРЕШИМЫХ ГРУПП,
У КОТОРЫХ ОБОБЩЕННЫЙ КОММУТАНТ
 π -ХОЛЛОВОЙ ПОДГРУППЫ НИЛЬПОТЕНТЕН**

Обобщенным коммутантом группы G называется наименьшая нормальная подгруппа N группы G такая, что G/N является группой с абелевыми силовскими подгруппами. Доказано, что производная π -длина конечной π -разрешимой группы, у которой обобщенный коммутант π -холловой подгруппы G_π нильпотентен, не превышает $|\pi(G_\pi)| - 1 + \max_{p \in \pi} l_p^a(G)$, где $l_p^a(G)$ – производная p -длина π -разрешимой группы G .

Введение

Рассматриваются только конечные группы. Все используемые понятия и обозначения соответствуют [1]. В 1956 г. Холл и Хигмэн [2] предложили понятие p -длины p -разрешимых групп. Они установили зависимость p -длины p -разрешимой группы от некоторых инвариантов ее силовской p -подгруппы. Элементарная теория p -длины изложена в монографии [1, VI.6]. Картер, Фишер и Хоукс [3] в 1968 г. ввели понятие нильпотентной π -длины разрешимой группы как обобщение нильпотентной длины и p -длины одновременно. Одной из первых работ по нильпотентной π -длине π -разрешимой группы была статья Нумата [4]. Оценкам нильпотентной π -длины π -разрешимой группы посвящены работы [5; 6]. В 2006 г. В.С. Монахов предложил понятие производной π -длины π -разрешимой группы [7]. Некоторые оценки производной π -длины π -разрешимой групп были получены автором в работах [8–10]. В частности, в работе [9] установлена оценка производной π -длины π -разрешимой группы, у которой коммутант π -холловой подгруппы нильпотентен. В настоящей заметке получены оценки производной π -длины π -разрешимой группы, у которой обобщенный коммутант π -холловой подгруппы нильпотентен.

Используемые определения и обозначения

Пусть P – множество всех простых чисел, а π – некоторое множество простых чисел. Дополнение к π во множестве P обозначается через π' . Символом π обозначается также функция, определенная на множестве всех натуральных чисел N следующим образом: $\pi(a)$ – множество простых чисел, делящих натуральное число a . Для группы G и ее подгруппы H считаем, что $\pi(G) = \pi(|G|)$ и $\pi(G:H) = \pi(|G:H|)$. Зафиксируем множество простых чисел π . Если $\pi(m) \subseteq \pi$, то натуральное число m называется π -числом. Группа G называется π -группой, если $\pi(G) \subseteq \pi$ и π' -группой, если $\pi(G) \subseteq \pi'$. В этом случае $\pi(G) \cap \pi' = \emptyset$.

Ряд подгрупп

$$G = G_0 \supseteq G_1 \supseteq G_2 \supseteq \dots \supseteq G_{n-1} \supseteq G_n = 1 \quad (1)$$



называется субнормальным, если для любого i подгруппа G_i нормальна в G_{i-1} . Фактор-группы G_{i-1}/G_i называются факторами ряда (1).

Группа называется π -разрешимой, если факторы G_{i-1}/G_i являются либо разрешимыми π -группами, либо π' -группами. Каждая π -разрешимая группа G обладает следующими рядами:

(π', π) -рядом, когда каждый фактор ряда (1) является либо π -группой, либо π' -группой; наименьшее число π -факторов среди всех субнормальных (π', π) -рядов группы G называется π -длиной π -разрешимой группы G и обозначается через $l_\pi(G)$;

(π', π^n) -рядом, когда каждый фактор ряда (1) является либо π' -группой, либо нильпотентной π -группой; наименьшее число нильпотентных π -факторов среди всех субнормальных (π', π^n) -рядов группы G называется нильпотентной π -длиной π -разрешимой группы G и обозначается через $l_\pi^n(G)$;

(π', π^a) -рядом, когда каждый фактор ряда (1) является либо π' -группой, либо абелевой π -группой; наименьшее число абелевых π -факторов среди всех субнормальных (π', π^a) -рядов группы G называется производной π -длиной π -разрешимой группы G и обозначается через $l_\pi^a(G)$.

В случае, когда $\pi = \pi(G)$ группа G становится разрешимой и значения $l_\pi^n(G)$ и $l_\pi^a(G)$ совпадают со значениями нильпотентной и производной длин группы G соответственно.

Свойства производной π -длины $l_\pi^a(G)$ во многом схожи со свойствами π -длины $l_\pi(G)$ и нильпотентной π -длины $l_\pi^n(G)$, но есть и отличия. Например,

$$l_\pi(G) = l_\pi(G/\Phi(G)), \quad l_\pi^n(G) = l_\pi^n(G/\Phi(G)),$$

а для производной π -длины аналоги этих равенств нарушаются. Здесь $\Phi(G)$ – подгруппа Фраттини группы G .

Обобщенным коммутантом группы G называется наименьшая нормальная подгруппа N группы G такая, что G/N является группой с абелевыми силовскими подгруппами. Очевидно, что обобщенный коммутант совпадает с A -корадикалом группы G , где A – класс всех разрешимых групп с абелевыми силовскими подгруппами.

Вспомогательные результаты

Для доказательства теоремы понадобятся следующие леммы.

Лемма 1. Если G – π -разрешимая группа, то

$$l_\pi(G) \leq l_\pi^n(G) \leq l_\pi^a(G).$$

Доказательство

Вытекает непосредственно из определений π -длины, нильпотентной π -длины и производной π -длины π -разрешимой группы.

Лемма 2. [8] Пусть G – π -разрешимая группа. Тогда:

- 1) если H – подгруппа группы G , то $l_\pi^a(H) \leq l_\pi^a(G)$;
- 2) если N – нормальная подгруппа группы G , то



$$l_{\pi}^a(G/N) \leq l_{\pi}^a(G) \text{ и } l_{\pi}^a(G) \leq l_{\pi}^a(G/N) + l_{\pi}^a(N);$$

3) если N – нормальная π' -подгруппа группы G , то $l_{\pi}^a(G/N) = l_{\pi}^a(G)$;

4) если G и V – π -разрешимые группы, то

$$l_{\pi}^a(G \times V) = \max\{l_{\pi}^a(G), l_{\pi}^a(V)\};$$

5) если N_1 и N_2 – нормальные подгруппы в G , то

$$l_{\pi}^a(G/(N_1 \cap N_2)) \leq \max\{l_{\pi}^a(G/N_1), l_{\pi}^a(G/N_2)\}.$$

Лемма 3. [11] Пусть G – π -разрешимая группа и t – натуральное число. Предположим, что $l_{\pi}^a(G/N) \leq t$ для всех неединичных нормальных подгрупп N группы G , но $l_{\pi}^a(G) > t$. Тогда:

1) $O_{\pi'}(G) = 1$;

2) в группе G существует только одна минимальная нормальная подгруппа;

3) $F(G) = O_p(G) = F(O_{\pi}(G))$ для некоторого простого $p \in \pi$;

4) $O_{p'}(G) = 1$ и $C_G(F(G)) \subseteq F(G)$.

Лемма 4. Если в p -разрешимой группе G силовская p -подгруппа является абелевой, то $l_p^a(G) \leq 1$.

Доказательство

Пусть G – p -разрешимая группа с абелевой силовской p -подгруппой. Для доказательства воспользуемся индукцией по порядку группы G . Пусть N – неединичная нормальная подгруппа в G . Так как $G_p N / N \cong G_p / (G_p \cap N)$, то их силовские подгруппы изоморфны. Следовательно, в любой фактор-группе группы G силовская p -подгруппа является абелевой. Поэтому по индукции $l_p^a(G/N) \leq 1$ для каждой неединичной нормальной подгруппы N группы G . По лемме 3 в группе G существует только одна минимальная нормальная подгруппа, а по лемме 2

$$O_{p'}(G) = 1, F(G) = O_p(G) \text{ и } C_G(F(G)) \subseteq F(G).$$

Так как $F(G) \subseteq G_p$ и G_p абелева, то

$$G_p \subseteq C_G(F(G)) \subseteq F(G).$$

Поэтому $G_p = F(G)$ и $l_p^a(G) \leq 1$. Лемма доказана.

Лемма 5. [11, 12] Пусть G – π -разрешимая группа и $\tau \subseteq \pi$. Тогда

$$l_{\pi}^*(G) \leq l_{\tau}^*(G) + l_{\pi \setminus \tau}^*(G).$$

Здесь под $l_{\pi}^*(G)$ понимается либо всюду $l_{\pi}^n(G)$, либо всюду $l_{\pi}^a(G)$.

Лемма 6. Если G – π -разрешимая группа с абелевыми силовскими p -подгруппами для всех $p \in \pi$, то $l_{\pi}^a(G) \leq |\pi(G_{\pi})|$.

Доказательство

Очевидно, что группа G является p -разрешимой для любого $p \in \pi$. Так как силовские p -подгруппы группы G абелевы, то по лемме 4 $l_p^a(G) \leq 1$ для каждого $p \in \pi$. Применяя лемму 5, получаем $l_{\pi}^a(G) \leq |\pi(G_{\pi})|$. Лемма доказана.



Группой Шмидта называют конечную ненильпотентную группу, все собственные подгруппы которой нильпотентны. Свойства групп Шмидта перечислены, например, в [1, III.5].

Лемма 7. [13] Пусть G – p -разрешимая группа с силовской p -подгруппой P . Если P изоморфна нормальной силовской p -подгруппе группы Шмидта, то $l_p(G) = 1$.

Основные результаты

Теорема 8. Пусть G – π -разрешимая группа, у которой обобщенный коммутант π -холловой подгруппы нильпотентен. Тогда

$$l_{\pi}^n(G) \leq |\pi(G_{\pi})| - 1 + \max_{p \in \pi} l_p(G) \text{ и } l_{\pi}^a(G) \leq |\pi(G_{\pi})| - 1 + \max_{p \in \pi} l_p^a(G).$$

Доказательство

Пусть G – π -разрешимая группа, у которой обобщенный коммутант π -холловой подгруппы нильпотентен. Для доказательства воспользуемся индукцией по порядку группы G . Очевидно, что условия теоремы переносятся на фактор-группы группы G , поэтому по лемме 3 в группе G существует единственная минимальная нормальная подгруппа. Кроме того, по лемме 2

$$O_{\pi'}(G) = O_{p'}(G) = 1, \\ F(G) = O_p(G) = F(O_{\pi}(G))$$

для некоторого простого $p \in \pi$ и $C_G(F(G)) \subseteq F(G)$.

Пусть N – обобщенный коммутант π -холловой подгруппы G_{π} . Так как N является нильпотентной группой, то p' -холлова подгруппа $N_{p'}$ из N нормальна в G_{π} и, следовательно,

$$N_{p'} \subseteq C_G(F(G)) \subseteq F(G).$$

Поэтому $N_{p'} = 1$ и N является p -группой.

Так как N обобщенный коммутант π -холловой подгруппы G_{π} , то силовская r -подгруппа $G_r N / N$ группы G_{π} / N абелева для всех $r \in \pi$. По [14, теорема 2.4] $G_q N / N \cong G_q$ для всех $q \in \pi \setminus \{p\}$. Таким образом, силовские q -подгруппы в группе G абелевы для всех $q \in \pi \setminus \{p\}$. По лемме 4 $l_q^a(G) \leq 1$ для всех $q \in \pi \setminus \{p\}$. Поэтому $\max_{t \in \pi} l_t^a(G) = l_p^a(G)$.

Так как в $G_{\pi \setminus \{p\}}$ все силовские подгруппы абелевы, то из леммы 6 получаем

$$l_{\pi \setminus \{p\}}^a(G) \leq |\pi(G_{\pi \setminus \{p\}})| - 1 = |\pi(G_{\pi})| - 1.$$

По лемме 5 $l_{\pi}^a(G) \leq l_{\pi \setminus \{p\}}^a(G) + l_p^a(G)$. Поэтому

$$l_{\pi}^a(G) \leq |\pi(G_{\pi})| - 1 + \max_{p \in \pi} l_p^a(G).$$

Таким образом, утверждение для производной π -длины конечной π -разрешимой группы доказано.

Докажем утверждение для нильпотентной π -длины. По лемме 1

$$l_{\pi \setminus \{p\}}^n(G) \leq l_{\pi \setminus \{p\}}^a(G) \leq |\pi(G_{\pi})| - 1.$$

Так как $l_{\pi}^n(G) \leq l_{\pi \setminus \{p\}}^n(G) + l_p^n(G)$ по лемме 5, то



$$l_{\pi}^n(G) \leq |\pi(G_{\pi})| - 1 + \max_{p \in \pi} l_p(G).$$

Теорема доказана.

Следствие 9. Пусть G – π -разрешимая группа, π -холлова подгруппа которой является группой Шмидта. Тогда $l_{\pi}^n(G) \leq 2$ и $l_{\pi}^a(G) \leq 3$.

Доказательство

Пусть π -холлова подгруппа G_{π} π -разрешимой группы G является группой Шмидта и $G_{\pi} = [P]Q$, где P – нормальная силовская p -подгруппа, а Q – ненормальная силовская q -подгруппа ($p \neq q$), причем Q – циклическая. Известно, что $(G_{\pi})' = P$. Так как обобщенный коммутант группы содержится в ее коммутанте, то по теореме 8 имеем

$$l_{\pi}^n(G) \leq |\pi(G_{\pi})| - 1 + \max_{p \in \pi} l_p(G) \text{ и } l_{\pi}^a(G) \leq |\pi(G_{\pi})| - 1 + \max_{p \in \pi} l_p^a(G).$$

По лемме 7 $l_p(G) \leq 1$. Так как P либо абелева, либо метабелева, то $l_p^a(G) \leq 2$. Тогда $l_{\pi}^n(G) \leq 2$ и $l_{\pi}^a(G) \leq 3$. Следствие доказано.

Группой Миллера – Морено называют наименьшую неабелеву группу. Ненильпотентные группы Миллера – Морено являются частным случаем групп Шмидта и их строение легко выводится из свойств групп Шмидта. Нильпотентные группы Миллера – Морено являются примарными.

Следствие 10. Пусть G – π -разрешимая группа, у которой π -холлова подгруппа является непримарной группой Миллера – Морено. Тогда

$$l_{\pi}^n(G) \leq l_{\pi}^a(G) \leq 2.$$

Доказательство

Пусть π -холлова подгруппа G_{π} π -разрешимой группы G является группой Миллера – Морено и $G_{\pi} = [P]Q$, где P – минимальная нормальная силовская p -подгруппа, а Q – ненормальная силовская q -подгруппа ($p \neq q$). Так как π -холлова подгруппа G_{π} является группой Миллера – Морено, то ее обобщенный коммутант является абелевой группой. Тогда по теореме 8

$$l_{\pi}^a(G) \leq |\pi(G_{\pi})| - 1 + \max_{p \in \pi} l_p^a(G).$$

По определению групп Миллера – Морено все подгруппы в G_{π} абелевы, поэтому $l_p^a(G) \leq 1$ для всех $p \in \pi$ по лемме 4. Следовательно, $l_{\pi}^a(G) \leq 2$, а с учетом леммы 1 $l_{\pi}^n(G) \leq l_{\pi}^a(G) \leq 2$. Следствие доказано.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huppert, B. Endliche Gruppen I / B. Huppert. – Berlin ; Heidelberg ; New York. – 1967.
2. Hall, P. The p -length of a p -soluble groups and reduction theorems for Burnside's problem / P. Hall, G. Higman // Proc. London Math. Soc. – 1956. – Vol. 3, № 7. – P. 1–42.
3. Carter, R. Extreme Classes of finite soluble groups / R. Carter, B. Fischer, T. Hawkes // Journal Algebra. – 1968. – Vol. 9, № 3. – P. 285–313.



4. Numata, M. On the p -nilpotent length of p -solvable groups / M. Numata // Osaka Journal. Math. – 1971. – Vol. 8. – P. 447–451.
5. Монахов, В. С. О нильпотентной π -длине конечных π -разрешимых групп / В. С. Монахов, О. А. Шпырко // Дискретная математика. – 2001. – Т. 13, вып. 3. – С. 145–152.
6. Монахов, В. С. О нильпотентной π -длине максимальных подгрупп конечных π -разрешимых групп / В.С. Монахов, О. А. Шпырко // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Математика. Механика. – 2009. – № 6. – С. 3–8.
7. Монахов, В. С. Конечные группы с полунормальной холловой подгруппой / В. С. Монахов. // Математические заметки – 2006. – Т. 80, № 4. – С. 573–581.
8. Грицук, Д. В. О конечных π -разрешимых группах с бициклическими силовскими подгруппами / Д. В. Грицук, В. С. Монахов, О. А. Шпырко // Проблемы физики, математики и техники. – 2013. – Т. 14, № 1. – С. 61–66.
9. Monakhov, V. S. On derived π -length of a finifte π -solvable group with supersolvable π -Hall subgroup / V. S. Monakhov, D. V. Gritsuk // Algebra and Discrete Mathematics. – 2013. – Vol. 16, № 2. – С. 233–241.
10. Грицук, Д. В. Производная π -длина π -разрешимой группы, силовские p -подгруппы которой либо бициклические, либо имеют порядок p^3 / Д. В. Грицук // Проблемы физики, математики и техники. – 2014. – № 2 (19). – С. 54–58.
11. Грицук, Д. В. О разрешимых группах, силовские подгруппы которых абелевы или экстраспециальные / Д. В. Грицук, В. С. Монахов // Труды Ин-та матем. НАН Беларуси. – 2012. – Т. 20, № 2. – С. 3–9.
12. Ballester-Bolinches, A. Products finite groups / A. Ballester-Bolinches, R. Estaban-Romero, M. Asaad. – De Gruyter Expositions in Mathematics, 2010. – 334 p.
13. Shemetkov, L. A. On the p -length of a finite p -solvable groups / L. A. Shemetkov, Yi Xiaolan // Труды Ин-та матем. НАН Беларуси. – 2008. – Т. 16, № 1. – С. 93–96.
14. Монахов, В. С. Введение в теорию конечных групп и их классов / В. С. Монахов. – Минск : Вышэйшая школа, 2006. – 207 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 01.09.2015

Gritsuk D.V. The Derived π -length of a π -solvable Group in which Generalized Derived Subgroup of a π -Hall Subgroup is Nilpotent

The smallest normal subgroup N of a group G such that G/N is the group in which the Sylow subgroups are the Abelin is called generalized derived subgroup of the group G . It is proved that the derived π -length of the π -solvable group in which generalized derived subgroup of the π -Hall subgroup G_π is nilpotent is at most $|\pi(G_\pi)| - 1 + \max_{p \in \pi} l_p^a(G)$, when $l_p^a(G)$ is the derived p -length of the π -solvable group G .



УДК 519.6+517.983.54

О.В. Матысик¹, В.Ф. Савчук²

¹канд. физ.-мат. наук, доц.,

зав. каф. прикладной математики и технологий программирования
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

²канд. физ.-мат. наук, доц.,

доц. каф. прикладной математики и технологий программирования
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

НЕЯВНЫЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС РЕШЕНИЯ НЕКОРРЕКТНЫХ ЗАДАЧ С ОСТАНОВОМ ПО ПОПРАВКАМ

Для решения линейных операторных уравнений первого рода с ограниченным положительным и несамосопряжённым оператором в гильбертовом пространстве предлагается неявный итерационный метод. Для этого метода обосновывается применение правила останова по поправкам, что делает предложенный метод эффективным и тогда, когда нет сведений об истокообразной представимости точного решения. В работе доказана сходимость итерационного метода, получена оценка для момента останова.

Введение

Встречается большой класс задач, где решения неустойчивы к малым изменениям исходных данных, т.е. сколь угодно малые изменения исходных данных могут приводить к большим изменениям решений. Задачи подобного типа принадлежат к классу некорректных задач.

На протяжении многих лет в математике считалось, что только корректные задачи имеют право на существование, что только они правильно отражают реальный мир. О некорректных задачах сложилось мнение, что они не имеют физической реальности, поэтому их решение бессмысленно. В результате долгое время некорректные задачи не изучались. Однако на практике все чаще и настойчивее стала возникать необходимость решать некорректные задачи. К таким задачам относятся задача Коши для уравнения Лапласа, задача решения интегрального уравнения I-го рода, задача дифференцирования функции, заданной приближенно, численное суммирование рядов Фурье, когда коэффициенты известны приближенно в метрике l_2 , обратная задача гравиметрии, обратная задача теории потенциала, задача спектроскопии, задача аналитического продолжения функции, известной на части области, на всю область. Некорректны также и задача проектирования оптимальных систем, конструкций, задача создания систем автоматической обработки результатов физического эксперимента, задача Коши для уравнения теплопроводности с обращенным временем и т.д.

Особое место среди методов решения некорректных задач занимают итерационные методы.

Описание полученных результатов

В гильбертовом пространстве H решается линейное операторное уравнение I рода

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

с положительным ограниченным несамосопряжённым оператором A , для которого нуль не является собственным значением. Однако предполагается, что нуль принадлежит спектру оператора A , поэтому задача (1) неустойчива и, следовательно, некорректна.



Предположим, что $y \in R(A)$, т.е. при точной правой части y уравнение имеет единственное решение x . Будем искать его, используя неявный итерационный процесс

$$x_{n+1} = \left(E + \alpha(A^*A)^4 \right)^{-1} \left[\left(E - \alpha(A^*A)^4 \right) x_n + 2\alpha(A^*A)^3 A^* y \right], \quad \alpha > 0, x_0 = 0. \quad (2)$$

В случае, когда правая часть уравнения задана приближённо $\|y - y_\delta\| \leq \delta$, метод итераций (2) примет вид

$$z_{n+1} = \left(E + \alpha(A^*A)^4 \right)^{-1} \left[\left(E - \alpha(A^*A)^4 \right) z_n + 2\alpha(A^*A)^3 A^* y_\delta \right] + \\ + \left(E + \alpha(A^*A)^4 \right)^{-1} \left(E - \alpha(A^*A)^4 \right) u_n, \quad \alpha > 0, z_0 = 0, \quad (3)$$

где u_n – ошибки в вычислении итераций, причём $\|u_n\| \leq \beta$. Обозначим через

$$C = \left(E + \alpha(A^*A)^4 \right)^{-1} \left(E - \alpha(A^*A)^4 \right), B = 2 \left(E + \alpha(A^*A)^4 \right)^{-1} \alpha(A^*A)^3 A^*. \quad \text{Тогда метод (3)}$$

примет вид $z_{n+1} = Cz_n + By_\delta + Cu_n$.

Ранее [1] была изучена сходимость метода (3) с априорным выбором числа итераций для самосопряжённого оператора A . Там доказано, что при условии $\alpha > 0$ метод (3) сходится и в продолжении, что точное решение x уравнения (1) истокотпредставимо, получена оценка погрешности.

В том случае, когда истокотпредставимость точного решения неизвестна, метод (3) можно сделать эффективным, если воспользоваться следующим правилом останова по поправкам (по соседним приближениям) [2–4]. Зададим уровень останова $\varepsilon > 0$ и момент останова m определим неравенствами

$$\left. \begin{aligned} \|z_n - z_{n+1}\| &> \varepsilon, (n < m), \\ \|z_m - z_{m+1}\| &\leq \varepsilon. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Покажем, что метод (3) с правилом останова (4) сходится. Аналогично [4] доказываются леммы.

Лемма 1. Пусть приближение ω_n определяется условиями

$$\omega_0 = z_0, \quad \omega_{n+1} = C\omega_n + By + Cu_n, \quad n \geq 0. \quad (5)$$

Тогда справедливо неравенство $\sum_{k=0}^n \|\omega_k - \omega_{k+1} + Cu_k\|^2 \leq \|\omega_0 - x\|^2 + \sum_{k=0}^{n-1} \|Cu_k\|^2$.

Лемма 2. При $\forall \omega_0 \in H$ и произвольной последовательности ошибок $\{u_n\}$, удовлетворяющих условию $\|u_n\| \leq \beta$, выполнено неравенство $\lim_{n \rightarrow \infty} \|\omega_n - \omega_{n+1}\| \leq 2\|C\|\beta$.

Обе леммы будут использованы при доказательстве следующей теоремы.

Теорема. Пусть уровень останова $\varepsilon = \varepsilon(\delta, \beta)$ выбирается как функция от уровней δ и β норм погрешностей $y - y_\delta$ и u_n . Тогда справедливы следующие утверждения:



а) если $\varepsilon(\delta, \beta) > 2\|C\|\beta$, то момент останова t определен при любом начальном приближении $z_0 \in H$ и любых y_δ и u_n , удовлетворяющих условиям $\|y - y_\delta\| \leq \delta$, $\|u_n\| \leq \beta$;

б) если $\varepsilon(\delta, \beta) > \|\beta\|\delta + 2\|C\|\beta$, то справедлива оценка

$$m \leq \frac{\|z_0 - x\|^2}{(\varepsilon - \|B\|\delta)(\varepsilon - \|B\|\delta - 2\|C\|\beta)};$$

в) если, кроме того, $\varepsilon(\delta, \beta) \rightarrow 0$, $\delta, \beta \rightarrow 0$ и $\varepsilon(\delta, \beta) \geq d(\|B\|\delta + \|C\|\beta^p)$, где $d > 1$, $p \in (0, 1)$, то $\lim_{\delta, \beta \rightarrow 0} \|z_m - x\| = 0$.

Доказательство.

а) По индукции покажем, что

$$z_n = C^n z_0 + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k (C^{-1} B y_\delta + u_{n-k-1}). \quad (6)$$

При $n=1$ из $z_n = C z_{n-1} + B y_\delta + C u_{n-1}$ имеем $z_1 = C z_0 + B y_\delta + C u_0$, из (6) получим то же самое, т.е. при $n=1$ формула (6) верна. Предположим, что (6) верна при $n=p$, т.е. $z_p = C^p z_0 + C \sum_{k=0}^{p-1} C^k (C^{-1} B y_\delta + u_{p-k-1})$ и докажем её справедливость при $n=p+1$. Имеем

$$\begin{aligned} z_{p+1} &= C^p z_p + B y_\delta + C u_p = C \left(C^p z_0 + C \sum_{k=0}^{p-1} C^k (C^{-1} B y_\delta + u_{p-k-1}) \right) + B y_\delta + C u_p = \\ &= C^{p+1} z_0 + C^2 (C^{-1} B y_\delta + u_{p-1} + B y_\delta + C u_{p-2} + C B y_\delta + C^2 u_{p-3} + \dots + \\ &\quad + C^{p-2} B y_\delta + C^{p-1} u_0) + B y_\delta + C u_p = C^{p+1} z_0 + C (B y_\delta + C u_{p-1} + \\ &\quad + C B y_\delta + C^2 u_{p-2} + \dots + C^{p-1} B y_\delta + C u_0 + C^{-1} B y_\delta + u_p) = \\ &= C^{p+1} z_0 + C \sum_{k=0}^p C^k (C^{-1} B y_\delta + u_{p-k}) \end{aligned}$$

Таким образом, справедливость (6) доказана. Отсюда

$$\begin{aligned} \omega_n &= C^n \omega_0 + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k (C^{-1} B y + u_{n-k-1}) = C^n \omega_0 + (E + C + C^2 + \dots + C^{n-1}) B y + \\ &\quad + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1} = C^n \omega_0 + (E - C^n)(E - C)^{-1} (A^* A)^{-1} (E - C) A^* y + \\ &\quad + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1} = C^n \omega_0 + A^{-1} (E - C^n) y + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1}. \end{aligned}$$

Учитывая, что $z_0 = \omega_0$, получим

$$\begin{aligned} z_n - z_{n+1} &= C^n z_0 + A^{-1} (E - C^n) y_\delta + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1} - C^{n+1} z_0 + A^{-1} (E - C^{n+1}) y_\delta - C \sum_{k=0}^n C^k u_{n-k} = \\ &= C^n \omega_0 + A^{-1} (E - C^n) y - A^{-1} (E - C^n) y + A^{-1} (E - C^n) y_\delta + \end{aligned}$$



$$+ C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1} - C^{n+1} \omega_0 - A^{-1}(E - C^{n+1})y + A^{-1}(E - C^{n+1})y - A^{-1}(E - C^n)y_\delta - \\ - C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k} = \omega_n - \omega_{n+1} + A^{-1}(E - C)(y_\delta - y) = \omega_n - \omega_{n+1} + C^n B(y - y_\delta).$$

Следовательно,

$$\|z_n - z_{n+1}\| \leq \|\omega_n - \omega_{n+1}\| + \|C^n B(y - y_\delta)\|. \quad (7)$$

Обозначим $\sigma = B(y - y_\delta)$, тогда

$$\|C^n B(y - y_\delta)\| = \|C^n \sigma\| = \left\| \int_0^{\|A^* A\|} \left(\frac{1 - \alpha \lambda^4}{1 + \alpha \lambda^4} \right)^n dE_\lambda \sigma \right\| \leq \left\| \int_0^{\varepsilon_0} \left(\frac{1 - \alpha \lambda^4}{1 + \alpha \lambda^4} \right)^n dE_\lambda \sigma \right\| + \\ + \left\| \int_{\varepsilon_0}^{\|A^* A\|} \left(\frac{1 - \alpha \lambda^4}{1 + \alpha \lambda^4} \right)^n dE_\lambda \sigma \right\| \leq \|E_{\varepsilon_0} \sigma\| + q^n \|\sigma\| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty, \varepsilon_0 \rightarrow 0,$$

так как при $\alpha > 0, \lambda \in (0, \|A^* A\|]$ имеем $\left| \frac{1 - \alpha \lambda^4}{1 + \alpha \lambda^4} \right| \leq q < 1$.

Поэтому (лемма 2) $\lim_{n \rightarrow \infty} \|z_n - z_{n+1}\| = \lim_{n \rightarrow \infty} \|\omega_n - \omega_{n+1}\| \leq 2\|C\|\beta$.

Следовательно, условием $\varepsilon(\delta, \beta) > 2\|C\|\beta$ момент останова m определен при любом начальном приближении $z_0 \in H$ и любых $y_\delta, \|y - y_\delta\| \leq \delta$ и $u_n, \|u_n\| \leq \beta$.

б) Рассмотрим последовательность (5) и определим момент останова m' условием

$$\left. \begin{aligned} \|\omega_n - \omega_{n+1}\| &> \varepsilon - \|B\|\delta, \quad (n < m'), \\ \|\omega_{m'} - \omega_{m'+1}\| &\leq \varepsilon - \|B\|\delta. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Из (7) следует, что $m \leq m'$. Из леммы 1 при $n = m'$ получим неравенство

$$\sum_{k=0}^{m'} \|\omega_k - \omega_{k+1} + Cu_k\|^2 \leq \|\omega_0 - x\|^2 + \sum_{k=0}^{m'-1} \|Cu_k\|^2, \text{ поэтому справедливо записать}$$

$$\sum_{k=0}^{m'-1} \|\omega_k - \omega_{k+1} + Cu_k\|^2 \leq \|\omega_0 - x\|^2 + \sum_{k=0}^{m'-1} \|Cu_k\|^2. \text{ Отсюда получим}$$

$$\sum_{k=0}^{m'-1} (\|\omega_k - \omega_{k+1}\| - \|C\|\beta)^2 \leq \|\omega_0 - x\|^2 + \sum_{k=0}^{m'-1} \|Cu_k\|^2.$$

Так как по (8) при $n < m'$ имеем $\|\omega_n - \omega_{n+1}\| > \varepsilon - \|B\|\delta$, то $m'(\varepsilon - \|B\|\delta - \|C\|\beta)^2 \leq \|\omega_0 - x\|^2 + m'\|C\|^2\beta^2$. Учитывая, что $\omega_0 = z_0$ и $m \leq m'$, из последнего неравенства получим оценку для момента останова

$$m \leq m' \leq \|z_0 - x\|^2 ((\varepsilon - \|B\|\delta - 2\|C\|\beta)(\varepsilon - \|B\|\delta))^{-1}.$$



в) Докажем, что

$$x = C^n x + \sum_{k=0}^{n-1} B C^k y. \quad (9)$$

Предположим, что (9) верно, тогда $x - C^n x = B(E + C + C^2 + \dots + C^{n-1})y$,
 $(E - C^n)x = B(E - C^n)(E - C)^{-1}y$, $(E - C^n)x = A^{-1}(E - C)(E - C^n)(E - C)^{-1}Ax$,
 $(E - C^n)x = (E - C^n)x$. Следовательно, предположение верно и справедливость формулы (9) доказана. Из (6) вычтем (9), получим

$$z_n - x = C^n(z_0 - x) + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k [C^{-1}B(y_\delta - y) + u_{n-k-1}]. \quad (10)$$

Отсюда $\Delta_n = C^n \Delta_0 + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k [C^{-1}B(y_\delta - y) + u_{n-k-1}]$, где $\Delta_n = z_n - x$

и $\Delta_0 = z_0 - x$. Следовательно,

$$\|\Delta_n\| \leq \|C^n \Delta_0\| + (\|B\|\delta + \|C\|\beta)n. \quad (11)$$

В частности, (11) справедливо и при $n = m$. Если $m \rightarrow \infty$ при $\varepsilon, \delta, \beta \rightarrow 0$, тогда, как показано ранее, $\|C^m \Delta_0\| \rightarrow 0, m \rightarrow \infty$. Поэтому для доказательства $\|z_m - x\| \rightarrow 0, \delta \rightarrow 0, \beta \rightarrow 0$ достаточно показать, что $m(\|B\|\delta + \|C\|\beta) \rightarrow 0, m \rightarrow \infty, \delta \rightarrow 0, \beta \rightarrow 0$. Из (10) получим

$$z_n - z_{n+1} = C^n(E - C)(z_0 - x) - Cu_n - C^n B(y_\delta - y) + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k (E - C)u_{n-k-1}. \quad (12)$$

Так как спектр оператора $C = \left(E + \alpha(A^* A)^4\right)^{-1} \left(E - \alpha(A^* A)^4\right)$ принадлежит $[0, 1]$,

то можно доказать, что

$$\|C^n(E - C)\| \leq \frac{1}{n+1}. \quad (13)$$

Поэтому из (12) получим при $n = m - 1$

$$\begin{aligned} \|z_{m-1} - z_m\| &\leq \left\| C^{\frac{m-1}{2}} C^{\frac{m-1}{2}} (E - C)(z_0 - x) \right\| + \|C^{m-1} B(y_\delta - y)\| + \|Cu_{m-1}\| + \\ &\left\| C \sum_{k=0}^{m-2} C^k (E - C)u_{m-k-2} \right\| \leq \left\| C^{\frac{m-1}{2}} (E - C) \right\| \left\| C^{\frac{m-1}{2}} (z_0 - x) \right\| + \|C\|\beta + \|B\|\delta + \\ &+ \|C\|\beta \sum_{k=0}^{m-2} \frac{1}{k+1} \leq \frac{2}{m} \left\| C^{\frac{m-1}{2}} (z_0 - x) \right\| + \|B\|\delta + \|C\|\beta(2 + \ln m), \end{aligned}$$

так как $\sum_{k=1}^{m-1} \frac{1}{k} \leq 1 + \ln m$ ([5]).



Так как по условию теоремы $\varepsilon(\delta, \beta) \geq d(\|B\|\delta + \|C\|\beta^p)$, $d > 1$, $p \in (0, 1)$, то при всех достаточно малых δ, β выполняется неравенство $\varepsilon(\delta, \beta) > \|B\|\delta + 2\|C\|\beta$, поэтому из б) получим

$$m \leq \frac{\|z_0 - x\|^2}{(\varepsilon - \|B\|\delta - 2\|C\|\beta)(\varepsilon - \|B\|\delta)}.$$

Поскольку $\|z_{m-1} - z_m\| > \varepsilon$, то $\varepsilon \leq \frac{2}{m} \left\| C^{\frac{m-1}{2}} (z_0 - x) \right\| + \|B\|\delta + \|C\|(2 + \ln m)\beta$. Отсюда

получим, что $m \leq \frac{2 \left\| C^{\frac{m-1}{2}} (z_0 - x) \right\|}{\varepsilon - \|B\|\delta - \|C\|\beta(2 + \ln m)}$. Умножим обе части последнего равенства

на $\|B\|\delta + \|C\|\beta$, получим $m(\|B\|\delta + \|C\|\beta) \leq \frac{2 \left\| C^{\frac{m-1}{2}} (z_0 - x) \right\| (\|B\|\delta + \|C\|\beta)}{\varepsilon - \|B\|\delta - \|C\|\beta \left[2 + \ln \frac{\|z_0 - x\|^2}{(\varepsilon - \|B\|\delta - 2\|C\|\beta)(\varepsilon - \|B\|\delta)} \right]}$.

При $m \rightarrow \infty$ множитель $2 \left\| C^{\frac{m-1}{2}} (z_0 - x) \right\| \rightarrow 0$,

а $\frac{2(\|B\|\delta + \|C\|\beta)}{\varepsilon - \|B\|\delta - \|C\|\beta \left[2 + \ln \frac{\|z_0 - x\|^2}{(\varepsilon - \|B\|\delta - 2\|C\|\beta)(\varepsilon - \|B\|\delta)} \right]}$ ограничена при $\delta, \beta \rightarrow 0$. Поэтому

$m(\|B\|\delta + \|C\|\beta) \rightarrow 0$, при $m \rightarrow \infty$, $\delta, \beta \rightarrow 0$. Отсюда и из неравенства (11) при $m \rightarrow 0$

$$\lim_{\delta, \beta \rightarrow 0} \|\Delta_m\| = \lim_{\delta, \beta \rightarrow 0} \|z_m - x\| = \lim_{\delta, \beta \rightarrow 0} (\|C^m \Delta_0\| + m(\|B\|\delta + \|C\|\beta)) = 0.$$

Итак, доказано, что $\lim_{\delta, \beta \rightarrow 0} \|z_m - x\| = 0$ при $m \rightarrow \infty$, т. е. метод (3) с правилом останова (4) сходится в исходной норме гильбертова пространства. Теорема доказана.

Заключение

В статье исследована сходимость итерационного метода решения некорректных задач в случае апостериорного выбора числа итераций. Рассмотренный метод может быть использован для решения задач, встречающихся в геологоразведке, сейсмике, спектроскопии, гравиметрии, теории потенциала, синтезе антенн, акустике, автоматической обработке результатов физического эксперимента, экономике.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матысик, О. В. Сходимость в гильбертовом пространстве неявной итерационной процедуры решения линейных уравнений / О. В. Матысик, В. Ф. Савчук // Вестн. Брест. ун-та. – 2008. – № 1 (30). – С. 15–21.
2. Емелин, И. В. Правило останова в итерационных процедурах решения некорректных задач / И. В. Емелин, М. А. Красносельский // Автоматика и телемеханика. – 1978. – № 12. – С. 59–63.
3. Савчук, В. Ф. Неявная итерационная процедура решения операторных уравнений в гильбертовом пространстве / В. Ф. Савчук, О. В. Матысик // Доклады НАН Беларуси. – 2006. – Т. 50, № 5. – С. 37–42.
4. Матысик, О. В. Об апостериорном выборе числа итераций в неявной итерационной процедуре для решения уравнений I рода / О. В. Матысик, В. Ф. Савчук // Вестн. Брест. ун-та. – 2008. – № 2 (31). – С. 11–18.
5. Градштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. – М. : Наука. – 1971. – 1108 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 01.10.2015

Matysik O.V., Savchuk V.F. Implicit Iteration Process of Solving Ill-Posed Problem with Stopped the Amendment

For the solution of linear operator equations of the first kind with a limited positive and non self-adjoint operator in a Hilbert space is proposed implicit iteration method. For this method, justified the use of the right to stop the amendment, which makes the proposed method is effective and when there is no information about sourcewise representation of the exact solution. We prove the convergence of the iteration method, the estimate for the moment stop.



УДК 524.354.6-33

В.С. Секержицкий

канд. физ.-мат. наук, доц., зав. каф. теоретической физики
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КРАЙНЕ ВЫРОЖДЕННОГО ИДЕАЛЬНОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В рамках статистической термодинамики равновесных систем исследовано влияние квантующего магнитного поля на энергетические и магнитные характеристики крайне вырожденного идеального газа релятивистских электронов. Получены соответствующие термодинамические соотношения с учетом и без учета статического аномального магнитного момента электрона. Рассмотрены приближения слабых и сверхсильных магнитных полей.

1. Исследование влияния магнитного поля на термодинамические характеристики идеального электронного газа представляет существенный интерес как для физики сверхплотных магнитных звезд, так и для физики твердого тела и полупроводников, и потому этой проблеме посвящено большое количество научных публикаций. В [1; 2] был предложен способ вычисления химического потенциала нерелятивистского электронного газа в магнитном поле, основанный на предварительном расчете большого термодинамического потенциала и использовании метода термодинамических функций. В [3] были впервые рассмотрены свойства релятивистской замагниченной плазмы и получена система параметрических уравнений, определяющих химический потенциал и давление релятивистского электронного газа в квантующем магнитном поле. В [4–7] был использован метод [1; 2] для описания газа релятивистских электронов в сильном магнитном поле при температуре абсолютного нуля и получены удобные для дальнейших аналитических исследований формулы химического потенциала и средней полной энергии этого газа. В [8] была сделана попытка сформулировать критерии вырождения и идеальности ультрарелятивистского электронного газа в сверхсильном магнитном поле. Исследованию влияния магнитных полей произвольной интенсивности на характеристики крайне вырожденных идеальных нерелятивистских и релятивистских ферми-газов посвящены и работы [9–14].

Подходы авторов перечисленных и иных работ по данной тематике, математический аппарат и методы расчетов весьма разнообразны. Это вполне естественно, так как вычисление термодинамических характеристик ферми-газов в магнитном поле в большинстве случаев не самоцель, а лишь средство для решения прикладных задач различных разделов физики. В то же время, некоторые особенности и свойства фермигазов в присутствии магнитного поля до настоящего времени не исследованы детально.

В настоящей работе приведены полученные нами термодинамические соотношения, позволяющие вычислять энергетические и магнитные характеристики крайне вырожденного идеального релятивистского электронного газа в квантующем магнитном поле при учете и без учета величины аномального магнитного момента электрона. Эти соотношения могут найти применение при теоретических исследованиях физических свойств вещества сверхплотных замагниченных астрофизических объектов типа магнитных белых карликов и нейтронных звезд (пульсаров).



2. Воспользовавшись методом, изложенным в [2], и учитывая, что спектр энергии свободного релятивистского электрона в постоянном и однородном магнитном поле с индукцией B определяется выражением [15]

$$\varepsilon = \sqrt{c^2 p_z^2 + \left(\sqrt{m^2 c^4 + 2mc^2 \mu_B B (2n+1+2s)} + 2s(\sigma-1)\mu_B B \right)^2}, \quad (1)$$

для большого термодинамического потенциала идеального электронного газа при $T = 0$ К получим:

$$\Omega(B) = -\frac{N}{2} \sqrt{\chi^2(0) - m^2 c^4} \frac{R_1}{R_2^{4/3}}. \quad (2)$$

Здесь m – масса электрона, p_z – проекция его импульса p на направление вектора индукции поля, n – номер квантового уровня Ландау, $s = \mp 1/2$, μ_B – магнетон Бора, σ – величина отношения собственного магнитного момента частицы к магнетону μ_B , N – число частиц в объеме V , χ – химический потенциал,

$$R_1 = \frac{3}{2} \sum_s \sum_n \left(\sqrt{X^2 + Y} \sqrt{X^2 - Z} - \frac{1}{2}(Y+Z) \ln \left| \frac{\sqrt{X^2 + Y} + \sqrt{X^2 - Z}}{\sqrt{X^2 + Y} - \sqrt{X^2 - Z}} \right| \right), \quad (3)$$

$$R_2 = \frac{3}{2} \sum_s \sum_n \sqrt{X^2 - Z}, \quad (4)$$

$$X^2 = \frac{\chi^2(B) - m^2 c^4}{2mc^2 \mu_B B}, \quad Y = \frac{mc^2}{2\mu_B B}, \quad (5)$$

$$Z = 2n+1+2s + \frac{(\sigma-1)^2}{4Y} + 2s(\sigma-1) \sqrt{1 + \frac{2n+1+2s}{Y}}, \quad (6)$$

$$\chi^2(0) - m^2 c^4 = (3\pi^2)^{2/3} c^2 \hbar^2 n_e^{2/3}; \quad (7)$$

суммирование в (3) и (4) ведется до тех пор, пока $X_q^2 \geq Z_q$; $n_e = N/V$ – концентрация электронов.

Используя известные [2] соотношения

$$N = -\frac{\partial \Omega}{\partial \chi}, \quad P = -\frac{\partial \Omega}{\partial V}, \quad E = \Omega + N\chi, \quad \kappa = -\frac{1}{VB} \frac{\partial \Omega}{\partial B} \quad (8)$$

для химического потенциала, давления, средней энергии и магнитной восприимчивости соответственно, получаем:



$$\chi(B) = \sqrt{m^2 c^4 + (\chi^2(0) - m^2 c^4) \frac{X^2}{R_2^{2/3}}}, \quad (9)$$

$$P(B) = \frac{N}{2V} \sqrt{\chi^2(0) - m^2 c^4} \frac{R_1}{R_2^{4/3}}, \quad (10)$$

$$E(B) = \frac{N}{2} \sqrt{\chi^2(0) - m^2 c^4} \frac{2\sqrt{X^2 + Y} R_2 - R_1}{R_2^{4/3}}, \quad (11)$$

$$\kappa_q = \kappa_0 \frac{R_1 + \frac{B}{2} \frac{\partial R_1}{\partial B}}{B R_2^{-2/3}} = \kappa_0 \frac{R_1 + \frac{1}{2} \sqrt{X^2 + Y} R_2 + R_3 - R_4}{B R_2^{-2/3}}, \quad (12)$$

где

$$\kappa_0 = \frac{2mc^2 \mu_B N / V}{\sqrt{\chi^2(0) - m^2 c^4}}, \quad (13)$$

$$R_3 = \frac{3}{8} Y \sum_s \sum_n \ln \left| \frac{\sqrt{X^2 + Y} + \sqrt{X^2 - Z}}{\sqrt{X^2 + Y} - \sqrt{X^2 - Z}} \right|, \quad (14)$$

$$R_4 = \frac{3}{16} \frac{\sigma - 1}{Y} \sum_s \sum_n \left(\left(\sqrt{X^2 + Y} \sqrt{X^2 - Z} + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\sqrt{X^2 + Y} + \sqrt{X^2 - Z}}{\sqrt{X^2 + Y} - \sqrt{X^2 - Z}} \right| \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\sigma - 1 + 4s \frac{2n + 1 + 2s}{\sqrt{1 + \frac{2n + 1 + 2s}{Y}}} \right) \right). \quad (15)$$

В квантовом пределе сверхсильных магнитных полей (при $n = 0$ и $s = -1/2$)

$$X^2 \leq 2 + \frac{(\sigma - 1)^2}{4Y} - (\sigma - 1) \sqrt{1 + \frac{2}{Y}}, \quad (16)$$

$$Z = (\sigma - 1) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{4Y} - 1 \right). \quad (17)$$

Полученные формулы описывают свойства крайне вырожденного идеального релятивистского электронного газа в магнитном поле, не оказывающем влияния на величины аномальных магнитных моментов микрочастиц. Это ограничивает их применимость условием $B \ll 4,414 \cdot 10^{13}$ Гс.



При $B > 10^{13}$ Гс мы вправе принять $\sigma \approx 1$, что не отразится существенно на численных расчетах термодинамических величин, но значительно их упростит. При этом

$$Z = 2n + 1 + 2s, \quad (18)$$

$$\varepsilon = \sqrt{c^2 p_z^2 + m^2 c^4 + 2mc^2 \mu_B B (2n + 1 + 2s)}. \quad (19)$$

Формулы [4–6], описывающие термодинамические характеристики ультрарелятивистского электронного газа в квантующем магнитном поле, являются частным случаем полученных нами соотношений при $\sigma = 1$ и $\chi \gg mc^2$.

3. Известно, что магнитное поле оказывает заметное квантующее действие на движение электрона, если ларморовский радиус последнего порядка и меньше длины волны де Бройля. Полагая импульс электрона равным импульсу Ферми при $B = 0$, несложно показать, что магнитное поле будет квантующим для релятивистских электронов при

$$B > B_{\kappa\phi} = \frac{\chi^2(0) - m^2 c^4}{4\pi m c^2 \mu_B} = \frac{(3\pi^2)^{2/3} \hbar^2}{4\pi m \mu_B} \left(\frac{N}{V} \right)^{2/3}. \quad (20)$$

В таблице приведены значения $B_{\kappa\phi}$ для заданных концентраций электронов. При величинах B , меньших указанных в таблице, мы вправе считать газ парамагнитным и не учитывать квантование Ландау.

Таблица

$n_e, \text{ см}^{-3}$	$\sqrt{\chi^2(0) - m^2 c^4}, \text{ МэВ}$	$B_{\kappa\phi}, \text{ Гс}$
10^{27}	$6,2 \cdot 10^{-2}$	10^{11}
10^{28}	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$4,6 \cdot 10^{11}$
10^{29}	$2,7 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{12}$
10^{30}	$6,1 \cdot 10^{-1}$	10^{13}
10^{31}	1,3	$4,6 \cdot 10^{13}$
10^{32}	2,7	$2,2 \cdot 10^{14}$
10^{33}	6,1	10^{15}
10^{34}	$1,3 \cdot 10$	$4,6 \cdot 10^{15}$
10^{35}	$2,7 \cdot 10$	$2,2 \cdot 10^{16}$
10^{36}	$6,1 \cdot 10$	10^{17}

В частности, для $\sigma = 1$ имеем в этом случае:

$$\varepsilon = \sqrt{c^2 p^2 + m^2 c^4 + 4mc^2 \mu_B B s}, \quad (21)$$



$$R_1 = \frac{1}{8} \sum_s \left(\sqrt{X^2 + Y} \sqrt{X^2 - 2s} (2X^2 - 3Y - 10s) + \frac{3}{2} (Y + 2s)^2 \ln \left| \frac{\sqrt{X^2 + Y} + \sqrt{X^2 - 2s}}{\sqrt{X^2 + Y} - \sqrt{X^2 - 2s}} \right| \right), \quad (22)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \sum_s (X^2 - 2s)^{3/2}, \quad (23)$$

$$R_3 = \frac{3}{16} Y \sum_s \left(2\sqrt{X^2 + Y} \sqrt{X^2 - 2s} - (Y + 2s) \ln \left| \frac{\sqrt{X^2 + Y} + \sqrt{X^2 - 2s}}{\sqrt{X^2 + Y} - \sqrt{X^2 - 2s}} \right| \right), \quad (24)$$

$$R_4 = 0. \quad (25)$$

Сверхсильные магнитные поля для релятивистского парамагнитного электронного газа рассматривать не приходится, так как условию $s = -1/2$ (или $X^2 \leq 1$) соответствует $B \geq 2^{2/3} \pi B_{\kappa 6} > B_{\kappa 6}$.

4. Используя соотношения подраздела 2 при $\sigma = 1$, представим выражения для давления и плотности энергии крайне вырожденного идеального релятивистского электронного газа в квантующем магнитном поле в виде [4–6]:

$$P(B) = \frac{n_e}{2} \xi(0) \frac{R_1(X, Y)}{R_2^{4/3}(X)}, \quad (26)$$

$$w(B) = \frac{n_e}{2} \xi(0) \frac{2\sqrt{X^2 + Y} R_2(X) - R_1(X, Y)}{R_2^{4/3}(X)}, \quad (27)$$

где

$$\xi(B) = \xi(0) \frac{X}{R_2^{1/3}(X)}, \quad \xi(0) = (3\pi^2)^{1/3} c \hbar n_e^{1/3}, \quad (28)$$

$$R_1(X, Y) = \frac{3}{2} \left(X \sqrt{X^2 + Y} - \frac{Y}{2} \ln \left| \frac{\sqrt{X^2 + Y} + X}{\sqrt{X^2 + Y} - X} \right| + \right. \\ \left. + 2 \sum_{n=1}^l \left(\sqrt{X^2 + Y} \sqrt{X^2 - 2n} - \frac{Y + 2n}{2} \ln \left| \frac{\sqrt{X^2 + Y} + \sqrt{X^2 - 2n}}{\sqrt{X^2 + Y} - \sqrt{X^2 - 2n}} \right| \right) \right), \quad (29)$$

$$R_2(X) = \frac{3}{2} \left(X + 2 \sum_{n=1}^l \sqrt{X^2 - 2n} \right). \quad (30)$$

Суммирование в (29) и (30) ведется до тех пор, пока выражения под соответствующими радикалами неотрицательные.



В квантовом пределе сверхсильных магнитных полей для релятивистских электронов [4–6].

$$X^2 \leq 2, \quad R_2(X) = \frac{3}{2}X, \quad (31)$$

$$R_1(X, Y) = \frac{3}{2} \left(X \sqrt{X^2 + Y} - \frac{Y}{2} \ln \left| \frac{\sqrt{X^2 + Y} + X}{\sqrt{X^2 + Y} - X} \right| \right), \quad (32)$$

$$\xi(B) = \frac{\pi^2 \hbar^3 c n_e}{m \mu_B B}. \quad (33)$$

Для ультрарелятивистских электронов в квантующем магнитном поле $\xi \gg mc^2$, $X^2 \gg Y$; при этом в квантовом пределе сверхсильного магнитного поля $R_1(X) = \frac{3}{2}X^2$ и

$$P(B) = w(B) = \frac{1}{2} n_e \cdot \xi(B). \quad (34)$$

В слабых магнитных полях ($X^2 > 10$) для ультрарелятивистских электронов, используя формулу суммирования Эйлера – Маклорена, получаем:

$$R_2(X) \approx X^3 \left(1 + \frac{X^4}{4} \right), \quad (35)$$

$$R_1(X) \approx \frac{1}{2} (X^4 + \ln X), \quad (36)$$

$$\frac{2R_1(X)}{R_2^{4/3}(X)} \approx \left(1 + \frac{\ln X}{X^4} \right) \left(1 - \frac{1}{3X^4} \right) \approx 1 + \frac{1}{X^4} \left(\ln X - \frac{1}{3} \right). \quad (37)$$

С помощью (35)–(37) несложно вычислять соответствующие термодинамические характеристики электронного газа.

5. Для релятивистского крайне вырожденного идеального электронного газа в квантующем магнитном поле из соотношений, приведенных выше, находим:

$$n_e = \frac{m \mu_B B}{\pi^2 \hbar^3 c} \sum_s \sum_n \sqrt{\chi^2(B) - m^2 c^4 - 2mc^2 \mu_B B (2n + 1 + 2s)}. \quad (38)$$



При $n \neq 0$ получить из (38) общее выражение для явной зависимости χ от n_e и B нельзя. Но при заданном значении номера квантового уровня Ландау $n = N$ и, например, $s = +1/2$ можно зафиксировать значение индукции магнитного поля B_N , для которого

$$\chi^2(B_N) - m^2 c^4 = 2mc^2 \mu_B B_N (2n + 2). \quad (39)$$

При $B \leq B_N$ электроны с магнитными моментами, направленными по полю ($s = -1/2$), могут находиться в квантовых состояниях с $n \leq N + 1$.

Принимая $B = B_N$ при $n = N$ и $s = +1/2$, находим:

$$n_e = \frac{2(m\mu_B B)^{3/2}}{\pi^2 \hbar^3} \left(\sum_{n=0}^N \sqrt{N-n} + \sum_{n=0}^{N+1} \sqrt{N-n+1} \right) = \frac{2(m\mu_B B)^{3/2}}{\pi^2 \hbar^3} \varphi(n, N). \quad (40)$$

Тогда

$$B_N = \frac{2^{1/3} \pi^{4/3} c \hbar n_e^{2/3}}{e \varphi^{2/3}(n, N)}, \quad (41)$$

$$\chi^2(B_N) - m^2 c^4 = 4mc^2 \mu_B B_N (N+1) = \frac{(\chi^2(0) - m^2 c^4)}{\varphi^{2/3}(n, N)} \left(\frac{2}{9} \right)^{1/3} 2(N+1). \quad (42)$$

Здесь

$$\chi(0) = \sqrt{m^2 c^4 + (3\pi^2)^{2/3} c^2 \hbar^2 n_e^{2/3}}, \quad (43)$$

$$\varphi(n, N) = \sum_{n=0}^N \sqrt{N-n} + \sum_{n=0}^{N+1} \sqrt{N-n+1}. \quad (44)$$

Несложно убедиться, что при $B = B_N$ и $s = +1/2$ величина $\xi_e(B_N)/\xi_e(0)$ (здесь $\xi_e = \sqrt{\chi_e^2 - m_e^2 c^4}$) возрастает с уменьшением N .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румер, Ю. Б. К теории магнетизма электронного газа / Ю. Б. Румер // Журн. эксперим. и теор. физ. – 1948. – Т. 18, № 12. – С. 1081–1095.
2. Румер, Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. – 2-е изд., исправл. и доп. – М. : Наука, 1977. – 552 с.
3. Рубан, В. А. Магнитные свойства релятивистской плазмы / В. А. Рубан // Изв. вузов. Физика. – 1967. – № 3. – С. 67–74.
4. Шульман, Г. А. Холодная нейтральная плазма в квантующем магнитном поле / Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1974. – № 10. – С. 24–28.



5. Шульман, Г. А. Нейтронизация холодного водорода в присутствии сверхсильных магнитных полей / Г. А. Шульман // *Астрофизика*. – 1974. – Т. 10, вып. 4. – С. 543–554.
6. Шульман, Г. А. О свойствах холодного плотного вещества с замороженным сверхсильным магнитным полем / Г. А. Шульман // *Астрофизика*. – 1975. – Т. 11, вып. 1. – С. 89–95.
7. Шульман, Г. А. К квантовой теории магнетизма сверхплотных звезд / Г. А. Шульман // *Астрон. журн.* – 1979. – Т. 56, вып. 1. – С. 51–59.
8. Шульман, Г. А. О снятии вырождения и приближения идеального газа для электронов холодной плотной звезды с замороженным сверхсильным магнитным полем / Г. А. Шульман, В. С. Секержицкий // *Астрофизика*. – 1977. – Т. 13, вып. 1. – С. 165–172.
9. Липовецкий, С. С. Термодинамические характеристики ферми-газов в магнитном поле / С. С. Липовецкий, А. А. Олесик, В. С. Секержицкий // *Изв. вузов. Физика*. – 1987. – № 5. – С. 21–25.
10. Иванов, М. А. К вопросу об идеальности ферми-газов в сильном магнитном поле / М. А. Иванов, С. С. Липовецкий, В. С. Секержицкий // *Астрофизика*. – 1989. – Т. 31, вып. 1. – С. 191–194.
11. Секержицкий, В. С. К вопросу о магнетизме релятивистского ферми-газа / В. С. Секержицкий // *Изв. вузов. Физика*. – 1994. – № 1. – С. 37–38.
12. Иванов, М. А. К вопросу о термодинамических характеристиках крайне вырожденного релятивистского ферми-газа в магнитном поле / М. А. Иванов, В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий // *Вестн. Брэсц. ун-та*. – 1999. – № 2. – С. 37–40.
13. Секержицкий, В. С. К вопросу о поляризации ферми-газов и уравнении состояния сверхплотного замагниченного водорода / В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий, А. И. Серый // *Вестн. Брэсц. ун-та*. – 2000. – № 6. – С. 70–78.
14. Секержицкий, В. С. Равновесные системы фермионов и бозонов в магнитных полях / В. С. Секержицкий. – Брест : Изд-во БрГУ, 2008. – 198 с.
15. Вонсовский, С. В. Магнетизм микрочастиц / С. В. Вонсовский. – М. : Наука, 1973. – 280 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 12.10.2015

Sekerzhitsky V.S. The Thermodynamics Description of Extremely Degenerate Ideal Relativistic Electron Gas in Magnetic Field

In limits of statistical thermodynamics balance systems is study the influence quantizing magnetic field on power and magnetic characteristics of extremely degenerate ideal gas of relativistic electrons. The corresponding thermodynamic correlations from accounting and without accounting static anomaly magnetic moment electron are received. The approach of weak and superstrong magnetic fields is examined.



УДК 691.544:666

Н.С. Ступень

канд. тех. наук, доц., зав. каф. химии

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ В МАГНЕЗИАЛЬНЫЙ ЦЕМЕНТ

Производство магнезимального цемента на основе каустического магнезита и доломита позволяет производить экологически безопасный и ценный строительный материал. Введение модифицирующих добавок повышает атмосферостойкость и водостойкость магнезимального цемента. В статье дан анализ модифицирующих добавок, улучшающих свойства магнезимального цемента.

Вопрос о долговечности строительных материалов и конструкций из них является одним из основных в строительной индустрии. В связи с огромным ростом строительства к строительным материалам в настоящее время предъявляются очень высокие требования. Современный строительный материал должен быть универсальным, обладать одновременно высокими конструктивными способностями и теплоизолирующими свойствами. Он должен быть негорючим, долговечным, влагостойким. Строительный материал также должен обладать достаточными декоративными свойствами, должен быть получен из минерального сырья и быть конкурентоспособным в сравнении с узкопрофильными материалами-аналогами. Но особое внимание уделяется проблеме экологического строительства. Следует отметить, что экологическое строительство невозможно без использования экологичных материалов, обладающих низкой эмиссией опасных веществ с поверхности, повышенной биостойкостью, так как биокоррозия не только разрушает строительный материал, но и создает опасную обстановку с точки зрения соблюдения гигиенических и экологических требований. Именно таким требованиям отвечает магнезимальный цемент (цемент Сореля). Он быстро твердеет, отличается высокой прочностью, способностью связывать органические и неорганические заполнители. Вещества органического происхождения (опилки, стружки) длительное время не корродируют в среде магнезимальных вяжущих в отличие от портландцементных и известковых композиций. На основе магнезимальных вяжущих получают камнеподобные материалы под общим названием «магнолит». Но применение магнезимальных вяжущих до сих пор ограничено из-за их низкой водостойкости. Как показано в работах [1; 2], из искусственного магнезимального камня вымываются хлорид-ионы, которые, напротив, способствуют коррозии металлических конструкций, что ограничивает область применения магнезимальных вяжущих. Свойства цемента Сореля позволяют использовать его для зимнего монолитного строительства, так как в отличие от портландцемента он твердеет при температуре до -10°C , что исключительно ценно в осенне-зимние периоды. В качестве армирующих материалов предложено использовать базальтовое волокно, чтобы избежать коррозии арматуры [3; 4].

Применение в строительстве магнезимального вяжущего, затворяемого хлоридом магния, требует учета особенностей его гидратации и формирования структуры при твердении, обеспечивающих магнезимальному камню и изделиям на его основе необходимые свойства. Как показано в работах [5; 6], при твердении магнезимального вяжущего, затворенного водным раствором хлорида магния разной концентрации, формируется искусственный камень с разными свойствами в зависимости от образующих его гидратных соединений – гидроксида магния, пентаоксигидрохлорида магния и триоксигидрохлорида магния. В частности, считают, что получаемый искусственный камень содержит



соединение вида $\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Cl}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [7], возможно образование сочетание различных образований: $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Cl}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}_2(\text{OH})_3\text{Cl}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [8]. Исследованию структуры соединения, образующегося при твердении в системе $\text{MgCl}_2 - \text{MgO} - \text{H}_2\text{O}$, посвящено множество работ. Доказано формирование структуры цепочек $-\text{O}-\text{Mg}-\text{O}-\text{Mg}-$, окруженных хлорид-ионами. Именно эти мостиковые связи обеспечивают прочность искусственного камня из каустического магнезита. К тому же они выполняют еще и армирующую функцию.

Затворение магнезиального вяжущего высококонцентрированными растворами хлорида магния способствует формированию структуры магнезиального камня пента- и триоксигидрохлоридами, при этом повышение концентрации затворителя способствует увеличению стабильной триоксигидрохлоридной фазы, а гидроксид магния в таких системах образуется в небольших количествах или вообще отсутствует. Следовательно, меняя концентрацию затворителя, можно регулировать качественный и количественный состав продуктов гидратации каустического магнезита и, соответственно, его свойства. Известно, что основной структурой, обеспечивающей прочность магнезиального камня, является $\text{Mg}_3(\text{OH})_5\text{Cl}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [9].

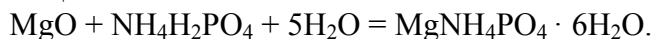
Поскольку низкая водостойкость является одним из главных факторов, сужающих применение вяжущего на основе каустического магнезита, то проблеме ее повышения посвящено множество работ. Основная причина низкой водостойкости связана с тем, что при контакте с водой гидратируется непрореагировавший каустический магнезит, который всегда содержится в искусственном камне, либо аморфный гидроксид магния. Также причиной может быть гидролиз триоксигидрохлорида магния [10]. Поэтому все методы повышения водостойкости сводятся либо к обеспечению наибольшей реакционной способности каустического магнезита, либо к подавлению гидролиза гидроксохлоридов магния. Таким образом, многообразие подходов можно условно разделить на пять групп.

1. *Изменение свойств каустического магнезита.* Есть исследования [11], связывающие реакционную способность кристаллов жженой магнезии с их размерами и состоянием кристаллической решетки, которые напрямую зависят не только от генезиса каустического магнезита, но и от температуры и длительности обжига. Установлено, что увеличение доли пережженной магнезии ухудшает прочностные свойства искусственного камня. Причина заключается в снижении активности оксида магния. При увеличении температуры обжига свыше 800°C оксид магния постепенно уплотняется и приобретает крупнокристаллическое строение. В таком виде MgO называют периклазом, он почти не взаимодействует с водой. Кроме того, при температурах $850-900^\circ\text{C}$ начинает разлагаться карбонат кальция (почти всегда присутствующий в сырье) с образованием оксида кальция. При затворении каустического магнезита хлоридом магния оксид кальция реагирует с ним и образует хлорид кальция, повышающий гигроскопичность изделий и ухудшающий их долговечность. Усиление контроля над условиями получения каустического магнезита могло бы быть выходом, если бы каустический магнезит производили только как самостоятельный строительный материал. Но одно из преимуществ каустического магнезита в том, что в качестве вяжущего можно использовать в том числе и отходы магниевых производств.

2. *Изменение свойств затворителя.* Каустический магнезит, как ни одно другое вяжущее, чувствителен к используемому затворителю. Есть несколько гипотез, объясняющих необходимость использования в качестве затворителя растворов солей, а не воды. Множество исследований подтверждают, что прочность и водостойкость по-

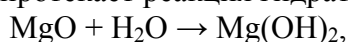


лучаемого искусственного камня во многом зависят еще и от плотности раствора затворителя. Есть предположение, что затворитель должен понижать pH системы для образования дефицита OH-групп и формирования мостиковых связей – Mg – O – Mg – O – [12]. Помимо растворов хлорида и сульфата магния есть предложения использовать продукт, получаемый в производстве изопропилового спирта путём нейтрализации серной кислоты серпентинитомagnesитом [13], состав, содержащий 10% концентрированной фосфорной кислоты [14], дигидрофосфат аммония [15]. Тогда твердение происходит по следующей реакции:

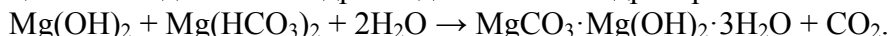


Процесс гидратации порошка MgO в воде происходит чрезвычайно медленно вследствие того, что образующаяся пленка Mg(OH)₂ препятствует диффузии воды вглубь зерен MgO. Процесс резко ускоряется, если в воде растворена соль-электролит. По некоторым данным, добавление в состав затворителя хлоридов с активными катионами NaCl, KCl приводит к изменению механизма гидратации магнезита и формированию искусственного камня с повышенной водостойкостью [16]. Также к способам модификации затворителя можно отнести добавление в раствор хлорида магния золя гидроксида железа (III) в количестве порядка десятых процента [17]. По мнению авторов разработки, это позволяет моделировать реальные процессы, идущие в земной коре. Добавление даже небольших количеств ионов Fe²⁺ и Fe³⁺ приводит к замещению на них ионов Mg²⁺, что вызывает активные процессы серпентинизации и отальковывания. Железосодержащие добавки способствуют ускоренной гидратации оксида магния, изменению состава гидратных фаз и свойств искусственного магнезиального камня. Войтович и Спирин предлагают использовать в качестве затворителя железный купорос [18]. Также были попытки использовать в качестве затворителя омагниченную воду, но они не привели к удовлетворительному результату [19].

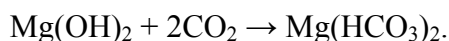
Недавно предложен принципиально новый состав жидкости затворения на основе гидрокарбоната магния, которую получают путем растворения в воде магнезита при повышенном давлении [20]. При взаимодействии каустического магнезита с водным раствором Mg(HCO₃)₂ сначала протекает реакция гидратации:



а затем реакция взаимодействия гидроксида магния с гидрокарбонатом:



Образующийся углекислый газ далее вступает во взаимодействие с избытком гидроксида магния:



Таким образом, в результате последовательного и циклического протекания реакций в цементном камне образуются две основные кристаллические фазы: гидроксид магния и гидрат гидрокарбоната магния, количественное соотношение между которыми предопределяется содержанием гидрокарбоната магния в жидкости затворения. Отсутствие растворимых соединений в цементном камне из такого вяжущего определяет его повышенную водостойкость с коэффициентом водостойкости более 1, и этот цементный камень твердеет с увеличением прочности не только в воздушной среде с относительной влажностью более 75%, но и в воде после предварительного твердения на воздухе в течение трех суток.

3. *Оптимизация состава цементной смеси.* Содержание в сырьевой смеси оксида магния значительно влияет на водостойкость искусственного камня. Показано, что увеличение содержания MgO повышает прочность камня (т.к. гидроксид магния служит



заполнителем), но при этом увеличивает водопоглощение [16]. Хотя есть и обратные данные. По мнению В.В. Зимич [17], увеличение магнезии в составе цементной смеси приводит к увеличению хрупкости и растрескиванию искусственного магнезимального камня. Интересен способ модификации системы за счет добавки безводного сульфата кальция (ангидритового цемента). Преимущество этого метода – в низкой гигроскопичности образующегося цементного камня [19]. Удовлетворительные результаты получаются при введении в состав цементной смеси извести или портландцемента [16].

4. *Использование активных заполнителей.* Изучено использование в качестве наполнителей микрокремнезема и диопсида, что повышает прочность образующегося камня и коэффициент размягчения. Диопсид является не только заполнителем вяжущего, но и активно участвует в процессах структурообразования цементного камня, выступая подложкой, на которой начинается кристаллизация продуктов твердения. Также перспективной добавкой, позволяющей не только получить водостойкое магнезимальное вяжущее, но и связать накопившиеся отходы производства огнеупоров, являются серпентиниты. Гидросиликаты-серпентиниты в количестве 15–40% дробят до фракции менее 60 мм, обжигают при температуре 1050–1100 °С в течение 2–3 часов, затем размалывают в порошок до прохода через сито 008. Тальк в количестве 6% от объема ксилолитовой смеси повышает плотность и коэффициент размягчения ксилолитового покрытия и уменьшает пылевыведение [15].

5. *Органические добавки.* Добавки органического происхождения в каустический магнезит изучены менее остальных. В работе [17] сообщается о введении в состав цемента отходов резиновых производств. Хотя здесь речь идет, скорее, не о модифицировании свойств, а об утилизации отходов. Известно использование уротропина и мочевины в качестве органических добавок, повышающих водостойкость.

Проведен анализ экологичности и на основании этого целесообразности использования добавок в магнезимальный цемент [20; 21].

1. Поливинилацетатная дисперсия (ПВА, ГОСТ 18922–80). Введение ПВА обеспечивает увеличение адгезии цементного теста и незначительное увеличение прочности. При деструкции в составе строительного материала возможна эмиссия токсичных органических соединений.

2. Натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). Введение этой добавки обеспечивает увеличение прочности и трещиностойкости. Основой для получения данной добавки служит возобновляемое сырье (древесина). Однако в технологии производства используются токсичные хлорорганические соединения.

3. Щавелевая кислота (ГОСТ 22180–76). При стандартных условиях щавелевая кислота твердая, а потому работа с ней более технологична, чем с концентрированной фосфорной кислотой.

4. Хризотил-асбест, модифицированный концентрированной серной кислотой (ГОСТ 4204–77), оказывает структурирующее действие, приводящее к повышению прочности и водостойкости, но есть рекомендации избегать применения асбеста в строительных изделиях.

5. Микрокремнезем конденсированный уплотненный (МКУ–85) является добавкой полифункционального действия, улучшает прочность, стойкость к коррозии и водостойкость бетона, является побочным продуктом производства ферросилиция, нетоксична.

Таким образом, для модифицирования каустического магнезита можно рекомендовать щавелевую кислоту, микрокремнезем, а для того чтобы соблюдать экологиче-



ские нормы – избегать применения полимерных модифицирующих добавок. С определенной осторожностью можно использовать хризотел-асбест.

Наибольший интерес представляют гидравлические кремнеземсодержащие добавки. Микрокремнезем (микрокремний, микросилика, кремниевая пыль) – побочный продукт производства кремниевых и феррокремниевых сплавов, представляющих собой высокодисперсную пыль кремнезема, улавливаемую фильтрами из отходящих газов. Он образуется при восстановлении высокочистого кварца с углем. Так как микрокремнезем является отходом производства, то его физико-химические свойства, в частности, дисперсность и содержание активной формы SiO_2 во многом определяется конкретными условиями получения сплавов. По мере увеличения содержания кремния в сплаве увеличивается содержание SiO_2 в кремниевой пыли, но химический состав микрокремнезема для конкретного производства остается постоянным. Микрокремнезем, содержащий не менее 85% SiO_2 , относится к пуццолановым добавкам с высокой активностью. Микрокремнезем в странах СНГ доступен, и использование его перспективно в больших количествах. Оказалось возможным применять микрокремнезем в виде добавки в магнезиальные вяжущие как в подвижных, так и сухих прессованных смесях. На основе этого были разработаны состав и технология получения композиционных вяжущих повышенной прочности, воздухостойкости и, что особенно важно, водостойкости на основе каустического магнезита и микрокремнезема. Введение микрокремнезема в магнезиальные вяжущие позволяет также решить проблему высолов на поверхности изделий [25].

Композиционные магнезиальные вяжущие могут быть использованы для получения прессованных изделий, например, облицовочных декоративных плит, эксплуатируемых в помещениях с повышенной влажностью [22–24].

Одним из ограничивающих факторов применения магнезиальных вяжущих в строительной отрасли Республики Беларусь является отсутствие месторождений магнезита. Существенно расширить производство магнезиального цемента можно путем получения его из более распространенного природного сырья доломита $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$. Доломит – это осадочная порода, на 90% и более состоящая из минерала доломита. При содержании доломита 50–90% породу называют известковым доломитом, а при меньшем содержании доломита – доломитизированным известняком. Самой обычной примесью является кальцит, нередко ангидрит или гипс, иногда аутигенный кремнезем (кварц и кремнезем).

На территории Беларуси известно 15 месторождений с общими запасами 759,3 млн тонн. Наиболее крупные из них месторождения в коренном залегании: Руба (Витебский район), Кобеляки (Оршанский район), Сарьянка (Верхнедвинский район). Эти месторождения расположены в долинах рек Западной Двины, Днепра, Сарьянки, где и выходят на дневную поверхность. Наиболее обширные выходы наблюдаются по левобережью Западной Двины возле Витебска – месторождение Руба. Общие его запасы составляют 790 млн тонн. Залегают доломиты в виде пастообразной толщи, под мореными и водно-ледниковыми четвертичными отложениями.

Одной из важных областей применения доломита является производство каустического доломита и изготовления из него магнезиального вяжущего. Каустический доломит – продукт тонкого помола обожженного природного доломита при температуре 650–720 °С. Полуобожженный доломит содержит 20–28% активного оксида магния и инертное вещество в количестве 60–70% CaCO_3 . Доломит, обожженный при температуре выше 900 °С, можно затворять водой и применять для приготовления растворов



для кладки и штукатурки. Для приготовления вяжущего полуобжиговый доломит, как и каустический магнезит, затворяют растворами солей электролитов: $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и т.д.

Выявлена техническая возможность применения в качестве заполнителей для бетонов на каустическом доломите промышленных отходов (древесная мука, золошлаковые смеси, бумажные и пластиковые отходы, отходы переработки автомобильных шин) при частичном или полном замещении ими природного заполнителя строительного песка. Бетоны на каустическом доломите можно использовать для устройства двухслойных полов для обеспечения и повышения тепло- и звукоизоляции. Верхний слой должен обладать повышенной устойчивостью к действию воды, агрессивных сред и может быть изготовлен из композиционного доломитового цемента с добавками микрокремнезема, который обеспечит эти качества.

Анализ результатов определения прочности бетонов, полученных на основе каустического доломита, измельченного по различным режимам, показывает, что для этого вяжущего увеличение дисперсности является эффективным средством повышения прочности бетона [4]. В частности, увеличение удельной поверхности каустического доломита с 1 320 до 5 500 $\text{см}^2/\text{г}$ обеспечивает существенный рост прочности бетона (более чем в 2 раза) во все сроки твердения. Дальнейшее увеличение тонкости помола до 8 500 $\text{см}^2/\text{г}$ технически нецелесообразно, так как повышает прочностные характеристики всего на 10–15%, а энергетические затраты на помол не компенсируются. Доломитовый цемент можно рассматривать как естественную композицию магнезиального цемента с карбонатным наполнителем. Оксид магния, образующийся при термической диссоциации карбоната магния, равномерно распределен в среде микронаполнителя карбоната кальция.

Выявлена техническая возможность применения в качестве заполнителей для бетонов на каустическом доломите промышленных отходов (древесная мука, золошлаковые смеси, бумажные и пластиковые отходы, отходы переработки автомобильных шин) при частичном или полном замещении ими природного заполнителя – строительного песка.

Бетоны на каустическом доломите можно использовать для устройства двухслойных полов для обеспечения и повышения тепло- и звукоизоляции. Верхний слой должен обладать повышенной устойчивостью к действию воды, агрессивных сред и может быть изготовлен из композиционного доломитового цемента с добавками микрокремнезема, который обеспечит эти качества [25].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров, В. И. Экологические аспекты технологии производства плиточных материалов с использованием каустического магнезита / В. И. Сидоров, Т. П. Никифорова, Н. И. Малявский // *Экология урбанизированных территорий*. – 2008. – № 2. – С. 63–66.
2. Сидоров, В. И. Экологические аспекты применения и эксплуатации конструкций на основе стекломagneзиевого листа / В. И. Сидоров, Е. И. Тупикин, Н. И. Малявский // *Экология урбанизированных территорий*. – 2009. – № 4. – С. 65–68.
3. Киянец, А. В. Влияние температуры начального выдерживания на твердение композитов на основе магнезиального вяжущего / А. В. Киянец // *Академ. вестн. УралНИИпроект РААСН*. – 2012. – № 4. – С. 77–79.



4. Головнев, С. Г. Высокоэффективные строительные технологии и материалы на основе магнезиального вяжущего / С. Г. Головнев, А. В. Киянец, К. В. Дьяков // Академ. вестн. УралНИИпроект РААСН. – 2009. – № 3. – С. 86–87.
5. Zheng, L. Hydrations and setting time of MgO-type expansive cement / L. Zheng, C. Xuchua, T. Mingshu // Cement and Concrete Research. – 1992. – V. 22. – P. 1–5.
6. Merwe, C. Hydration of Magnesia Cement / C. Merwe // Journal of Chem. Soc. of Japan. – 1956. – Vol. 63, № 7. – P. 1182–1184.
7. Tooper, B. Structure and Formation of Medium Reactive Magnesium Oxide using Hydration agents / B. Tooper, L. Cartz // Journal of Thermal Analysis and Colorimetry. – 2006. – Vol. 84. – P. 467–471.
8. Misra, A. Magnesium Oxychloride cement concrete / A. Misra, M. Renu // Bull. Mater. Sci. – 2007. – Vol. 30. – № 3. – P. 239–243.
9. Sugimoto, K. Structure determination of $\text{Mg}_3(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ from laboratory powder diffraction data and its impact on the analysis of problematic magnesia floors / K. Sugimoto, R. Dinnebier, T. Schlecht // Structural Science. – 2007. – Vol. 63. – Part 6. – P. 805–811.
10. Крамар, Л. Я. Особенности твердения магнезиального вяжущего / Л. Я. Крамар, Т. Н. Черных, Б. Я. Трофимов // Цемент и его применение. – 2006. – № 5–6. – С. 21–24.
11. Зуев, В. В. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов, включая магнезиальные цементы / В. В. Зуев, Л. Н. Поцелуева, Ю. Д. Гончаров. – СПб., 2006. – 137 с.
12. Легостаева, Н. В. Магнезиальное вяжущее / Н. В. Легостаева // Вестн. ИрГТУ. – № 4 (24). – 2005. – С. 210–211.
13. Зимич, В. В. Влияние различных видов затворителей на гигроскопичность магнезиального камня / В. В. Зимич, Л. Я. Крамар, Б. Я. Трофимов // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Строительство и архитектура». – 2008. – Вып. 6, № 12. – С. 13–15.
14. Сидоров, В. В. Теоретические основы технологии производства плиточных материалов с использованием каустического магнезита / В. В. Сидоров, Н. И. Малявский, Т. А. Никифорова // Технологии бетонов. – 2008. – № 2. – С. 46–49.
15. Abdelrazig, B. The chemical composition of mortars made from magnesia: phosphate cement / B. Abdelrazig // Cement and Concrete Research. – 1998. – 18 (3). – P. 415–425.
16. Крамар, Л. Я. Композиции на основе магнезиального вяжущего, не склонные при эксплуатации к растрескиванию / Л. Я. Крамар, С. В. Нуждин, Б. Я. Трофимов // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Строительство и архитектура». – 2007. – Вып. 4, № 14. – С. 15–17.
17. Зимич, В. В. Особенности влияния добавки золя гидроксида железа на структуру и свойства магнезиального камня // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Строительство и архитектура». – 2011. – Вып. 13, № 35 (252). – С. 25–32.
18. Войтович, В. А. Полы на основе магнезиальных вяжущих веществ / В. А. Войтович, Г. В. Спирин // Строительные материалы. – 2003. – № 9. – С. 8–9.
19. Габибов, Н. Б. Исследование влияния различных добавок на физико-механические свойства плиточных материалов на основе каустического магнезита / Н. Б. Габибов // Вестн. МГСУ. – 2008. – Спецвыпуск № 1. – С. 166–171.
20. Устинова, Ю. В. Повышение водостойкости магнезиальных вяжущих / Ю. В. Устинова, А. Е. Насонова, В. В. Козлов // Вестн. МГСУ. – 2010. – № 4, т. 3. – С. 123–127.



21. Козлов, В. В. Водостойкость материалов на основе каустического магнезита, модифицированного отходами асбоцементных производств / В. В. Козлов, Ю. В. Устинова, А. Е. Насонова // Вестн. МГСУ. – 2011. – № 1, т. 2. – С. 288–291.
22. Ступень, Н. С. Зависимость прочности и водостойкости магнезиального цемента от способов уплотнения формовочных смесей : сб. ст. II межвуз. науч.-тех. конф. : в 2 ч. / Н. С. Ступень, Б. С. Шевченко. – Брест : БПИ, 1998. – Ч. 1. – С. 219.
23. Ступень, Н. С. Условия образования водостойких соединений магния при производстве магнезиальных вяжущих : материалы междунар. практ. конф. / Н. С. Ступень, Б. С. Шевченко. – Брест : БПИ, 2000. – С. 168.
24. Ступень, Н. С. Экологические аспекты промышленных районов Полесья / Н. С. Ступень // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац. : у 2 т. / рэдкал.: М. В. Міхальчук (адк. рэд.). – Брест : Академия, 2006. – Т. 2. – С. 363–367.
25. Ступень, Н. С. Композиционные вяжущие на основе белорусских доломитов : тезисы докл. IV междунар. науч. конф. «Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця Н. С. Ступень. – Брест : Альтернатива, 2008. – С. 205.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 16.10.2015

Stupen N.S. Modifying Additives in Magnesia Cement

The production of magnesia cement based on caustic magnesite and dolomite will produce environmentally safe and valuable building material. The introduction of modifying additives increases the weather resistance and water resistance of magnesia cement. In the article the analysis of the modifying additives that improve the properties of magnesia cement.



УДК 597; 639.2.053.7

В.Е. Гайдук¹, Е.С. Блоцкая², И.В. Абрамова³

¹д-р биол. наук, проф. каф. зоологии и генетики

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

²канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

³канд. биол. наук, доц., декан географического факультета

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

РАСПРОСТРАНЕНИЕ, БИОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЧИСЛЕННОСТЬ РЫБООБРАЗНЫХ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ БЕЛАРУСИ

В статье изложены результаты многолетних исследований (1967–2014 гг.), распространения, биотопического распределения и численности рыбообразных юго-западной Беларуси. Анализируется современное их состояние в регионе и их охрана. В юго-западной Беларуси обитает 59 видов рыбообразных. Населяют различные водные экосистемы: реки, озера, пруды, мелиоративные каналы и рыбхозы.

Введение

Ихтиофауна водоемов Беларуси в течение последних десятилетий претерпела существенные изменения главным образом под влиянием антропогенного фактора [1; 2]. Эти изменения будут продолжаться и в обозримом будущем. Сохранение и устойчивое использование биологического биоразнообразия рыб рассматривается как одна из сторон управления природными биологическими ресурсами.

Экология рыб Брестской области до середины XX в. была слабо изучена. Специальных обобщающих работ по ихтиофауне региона не имеется. Сведения по биологии рыб юго-западной Беларуси имеются в ряде публикаций, в том числе и в монографиях [3–5], в популярном энциклопедическом справочнике [6], в учебном пособии [7], а по редким видам – в Красной книге Республики Беларусь [8–10].

Биологическое разнообразие рыб водоемов Беларуси и проблемы их охраны рассматриваются во многих публикациях [2; 11–13]. Т.М. Шевцова с соавторами [14] изучили за ряд лет динамику ихтиофауны бассейна р. Припять. Д.Ф. Куницкий [15], Д.Ф. Куницкий и В.К. Ризевский [16] выявили ряд инвазивных видов рыб этого бассейна в конце XX ст. В более поздних публикациях [17; 18] подведены итоги исследования чужеродных видов рыб в водоемах Беларуси.

Видовой состав и состояние рыб бассейна реки Западный Буг в пределах территории биосферного резервата «Прибужское Полесье» приведены в работах авторов данной статьи [19; 20] и В.Т. Демянчика [21].

Большую тревогу у ихтиологов вызывают инвазивные виды, которые в глобальном масштабе являются одной из причин после антропогенного загрязнения среды вымирания аборигенных видов и потери биоразнообразия. Отметим, что по территории Беларуси проходит один из важнейших водных коридоров (бассейны Днестра, Припяти и Вислы) проникновения чужеродных видов из Черноморского бассейна в Центральную и Западную Европу и Балтийское море. Основными причинами проникновения этих видов на территорию Беларуси является антропогенная трансформация ландшафтов и глобальное потепление климата.

Материал и методы

На территории Брестской области протекает 80 больших, средних и малых рек, которые относятся к бассейнам рек Припять, Зап. Буг и Щара. Территория Брестской



области покрыта сетью каналов, в том числе и мелиоративных, длина последних составляет около 111 тыс. км. Самые крупные из них – Днепроовско-Бугский (196 км) и Огинский (54 км). Плотность речной сетки вместе с каналами в области составляет в среднем 0,42 км/км², в бассейне Зап. Буга – 0,35, в бассейне Щары – 0,45, в бассейне Припяти колеблется от 0,23 до 0,45 км/км² на востоке области [22].

В Брестской области находятся 44 озера, площадь которых превышает 0,1 км²; самое большое из них – Выгоновское (26 км²). Многие озера имеют старичное происхождение (долины рек Припять и Зап. Буг). Озера трех типов: мезотрофные, эфтрофные и дистрофные. В регионе насчитывается 30 водохранилищ общей площадью 121 км² (наиболее крупные – Береза-1, Локтыши, Погост [22]) и восемь рыбхозов.

Видовой состав ихтиофауны, распределение видов рыб по водоемам и их относительная численность изучали в 1967–2014 гг. в различных районах Брестской области: в бассейнах рек Припять, Зап. Буг и Щара. Географические координаты крайних то-чек области – 51°30' – 53°24' с.ш. и 23°12' – 27°37' в.д.

Сведения о рыбах получали на основе изучения данных спортивной ловли как летом, так и зимой, специального лова, просмотров промысловых ловов рыб на реках и озерах и прямых наблюдений под водой. Рыб изучали во время экспедиций, однократных и многократных выездов на водоемы в различные районы Брестской области: на озера Белое, Черное, Селяхи, Ореховское, Олтушское, Бобровичское, Завищанское и др.; водохранилища Луковское, Селец, Локтыши, Погост; рыбхозы Локтыши, Селец, Страдочь, Лахва, Новоселки и др.; реки Припять с притоками, Зап. Буг с притоками и Щара с притоками. Основной материал в летний период был собран при проведении полевых практик по зоологии и экологии со студентами биологического и географического факультетов БрГУ имени А.С. Пушкина и экспедиций в Беловежскую пушу (р. Лесная), бассейн р. Зап. Буг (Брестский и Малоритский р-ны), бассейн р. Мухавец (Кобринский и Брестский р-ны), бассейн р. Припять (Пинский, Столинский и Лунинецкий р-ны). Рыбы рыбхозов Локтыши, Новоселки, Лахва, Селец, Соколово и др. изучали во время летних экскурсий и специальных исследований. Сведения о рыбах естественных водоемов и рыбхозов получали также от работников хозяйств, рыболовецких хозяйств и от районных инспекторов природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Активное участие в сборе материала принимали многие поколения студентов и выпускников биологического и географического факультетов БрГУ, которые выполняли под руководством авторов этой работы индивидуальные, курсовые и дипломные работы, или сообщали ценные сведения о рыбах региона, за что мы выражаем им большую благодарность.

Результаты и их обсуждение

Гидрологическая сеть Брестской области представлена реками (Припять, Ясельда, Горынь, Лань, Случь, Стырь, Зап. Буг, Щара и др.), протоками, системой каналов, озерами, многочисленными малыми и мелководными водоемами на заболоченных участках поймы.

В водоемах и водотоках Брестской области обитает 59 видов рыб, в том числе 16 видов инвазивных и интродуцированных. Промысловое значение имеют 25–30 видов, 9 видов включены в Красную книгу Республики Беларусь [10]. Общий промысловый вылов рыбы в 2010 г. составил 8 961,4 центнера, вылов рыбы рыболовами-любителями – 8 398 центнеров, что составляет 90,4% общего улова рыб. Анализ многолетних данных (1951–1998 гг.) показывает, что вылов рыб из естественных водоемов Бе-



ларуси снизился примерно в 6 раз [23], в последние годы стабилизировался на низком уровне и несколько возрос в 2010 г. по отношению к 2006 г. [24; 25]. Любительский лов рыбы оказывает существенное влияние на ихтиофауну и водные экосистемы. Об этом косвенно указывает количество и площадь водоемов и водотоков, посещаемых рыбаками-любителями. Например, в 2003–2005 гг. в Брестской области рыболовы-любители посетили 338 озер, водохранилищ, прудов и других стоячих водоемов на общей площади 2 784 га; 73 реки и канала общей протяженностью 3 430 км [25]. В последующие годы и до настоящего времени интенсивность посещения водоемов рыбаками-любителями в Брестской области увеличивается.

Важнейшими видами рыб, которые играют существенную роль в ихтиоценозах, или экосистемах водоемов, являются речной окунь, щука, лещ, плотва и др. Эти виды относятся к доминирующим в реках и озерах.

Для естественных водоемов Беларуси характерно высокое число малоценных и низкое ценных промысловых видов. Малоценные виды рыб (плотва, окунь, густера, ерш) в промысловых уловах озерно-речных рыб составляет около 80%, тогда как вылов ценных рыб (щука, лещ, судак и др.) обычно в последнее десятилетие не превышает 20% от общей величины уловов. Среди малоценных видов рыб преобладала плотва (более 50%), среди ценных – щука и лещ (60–70%). Основной лов рыбы ведется на озерах (74,2% от общего улова), из рек вылавливается 17,2%, из водохранилищ – 8,6% [7].

В рыбхозах региона доминирующее положение занимает карп. Выращиваются стерлядь, радужная форель, белый амур, обыкновенный и пестрый толстолобик, серебряный карась, а также ведутся работы по введению в культуру черного амура, большеротого, малоротого и черного буффало и др. В рыбхозе «Селец» воспроизводится и выращивается 13 видов рыб: карп, стерлядь, ленский осетр, форель, щука, судак и др. На долю карпа приходится 50–70% от массы улова всех рыб, на долю толстолобика – 10–12%. Некоторые рыбхозы Брестской области, например, рыбхоз «Селец» входит в состав хозяйств, являющихся заказниками на все виды болотных и водоплавающих птиц. В этих рыбхозах хозяйственные цели сопряжены с решением задач охраны рыбных запасов, охраны вод и охраны природы в целом.

Из 43 видов аборигенов, которые обитают в настоящее время в реках, озерах и прудовых хозяйствах, 22 широко распространены в реках и озерах, 18 видов встречаются в реках и случайно в небольшом количестве могут заходить в проточные озера и пойменные водоемы. Ряд видов: ручьевая минога, ручьевая форель, хариус, голец, обыкновенный гольян – обитают преимущественно в верховьях рек и ручьев с чистой прохладной водой; стерлядь, подуст, белоглазка, синец, чехонь и др. – более теплолюбивы и населяют равнинные участки рек. Промежуточное положение занимают голавль, быстрянка и др., обитающие на участках с теплой проточной водой. Многие виды (голец, окунь) широко распространены по рекам и озерам. Чисто озерным видом является озерный гольян, встречающийся в некоторых небольших озерах и пойменных водоемах бассейна р. Припять.

Проведенные нами исследования по составу ихтиофауны водоемов юго-западной Беларуси и анализ литературных данных показали, что в составе ихтиофауны водоемов региона за последние 50 лет произошли структурные и качественные изменения. В ихтиофауне водоемов, с одной стороны, исчезли некоторые виды рыб (русский осетр, вырезуб), с другой – появились новые, чужеродные для водоемов рыбы (бычок-песочник, гонец, бычок-цуцик, белоперый пескарь). Наиболее серьезные изменения произошли в бассейне р. Припять, на что обращали внимание многие специалисты [15–17].



Эти изменения происходят в результате естественных миграций различных видов рыб, интродукции и реинтродукции значимых промысловых видов рыб, а также случайных заносов. Обычно инвазивные виды рыб условно разделяют на 4 категории: виды, расширяющие ареал, интродуценты, акклиматизанты и случайные акклиматизанты [17]. К видам первой категории относятся бычки: песочник, гонец и кругляк, – которые широко распространены в солоноватых и пресных водоемах бассейна Черного моря. К видам, расширяющим свой ареал, относятся трехиглая и девятииглая колюшки. Интродуцентами являются белый амур, пестрый и белый толстолобик. Акклиматизанты – серебряный карась, американский и канальный сомик. Случайные акклиматизанты – амурский чебачок и головешка-ротан. В конце XX ст. в бассейне р. Припять обитало 46 видов рыб [12]. В настоящее время здесь в реках встречается 49 видов, в озерах и стоячих водоемах 27 видов (таблица 1).

Чисто озерным видом является озерный голянь. Как показал анализ встречаемости рыб с разной численностью (таблица 2), в реках и озерах бассейна р. Припять на долю рыб с высокой численностью приходится 10,2% (в реках) и 18,5% (в озерах). Самой многочисленной группой рыб является группа с невысокой численностью как в реках, так в озерах – соответственно 71,4 и 66,7% (таблица 2). Единичные встречи рыб характерны 5 видам (10,2%).

Таблица 2. – Встречаемость рыб с разной численностью в бассейнах рек Брестской области (числитель – рыбы рек, знаменатель – рыбы озер), %

Бассейн реки	n	xxx	n	xx	n	x	n	1	Всего
Припять	5/5	10,2/ 18,5	4/4	8,2/ 14,8	35/ 18	71,4/ 66,7	5	10,2/	49/ 27
Зап. Буг	5/6	14,7/ 27,3	4/4	11,8/ 18,2	25/ 12	73,5/ 54,5	–	–	34/ 22
Щара	5/5	13,5/ 25,0	4/5	10,8/ 25,0	25/ 9	67,6/ 45,0	3/1	8,1/ 5,0	37/ 20

Примечание: xxx – рыбы с высокой численностью; xx – рыбы со средней численностью; x – рыбы с невысокой численностью; 1 – рыбы, встречающиеся единично; – – рыбы не встречаются.

Ихтиофауна бассейна р. Припять состоит из речных и озерно-речных видов рыб. В водоемах и водотоках было отмечено 51 вид рыб, в том числе 27 видов рыб семейства карповых, 5 видов (12,0%) – семейства окуневых, 4 вида (8,2%) – бычковых, по 2 вида семейств вьюновых и колюшковых, 9 семейств (осетровые, шуковые и др.) представлены одним видом (таблица 1). В реках выявлено 49 видов рыб (на долю семейства карповых приходится 55,1% от всех видов рыб); в озерах – 27 видов, здесь также доминируют виды семейства карповых.

Современная ихтиофауна водоемов бассейна р. Припять наряду с аборигенными включает инвазивные виды, которые вселились в экосистемы в последние 50 лет. Среди последних выделяют интродуцентов (серебряный карась, пестрый толстолобик) и случайных акклиматизантов (цуцик, песчанник, ротан-головешка и др.).

Наибольшая плотность населения характерна для обычных и широко распространенных в реках и озерах видов рыб: щуки *Esox lucius*, плотвы *Rutilus rutilus*, речного окуня *Perca fluviatilis*, обыкновенного ерша *Gymnocephalus cernuus*, – на долю которых приходится 10,2 и 18,5% рыб (таблица 2). Промысловыми являются 21 вид аборигенных рыб (щука, плотва, речной окунь и др.) и 2 вида интродуцированных (серебряный карась и пестрый толстолобик).









По относительной численности вида и его встречаемости на разных участках водоемов рыб разделили на 3 группы. 23 вида рыб (обыкновенный судак, речной окунь, линь, краснопёрка, плотва, язь, лещ и др.) обычны на всем протяжении русла рек Припять и Горынь, а также встречаются на устьевых участках рек. Во вторую группу входят 7 видов рыб (бычок-гонец, обыкновенный елец, обыкновенный пескарь и др.), которые выявлены при облове участков русла. Для выявления видового состава рыб проводился облов рыб мелководным неводом (длина 30 м, высота в куле 0,7 м, ячей 6–8 мм). В третью группу отнесены 8 видов (налим, вьюн, золотой карась, пестрый толстолобик и др.), их обитание выявлено по опросным, литературным и нашим данным.

На территории бассейна р. Припять в Пинском, Лунинецком, Столинском районах располагаются нерестилища многих видов рыб, этому способствуют высокие и длительные половодья, характерные для этих рек региона (таблица 3).

Таблица 3. – Нерестилища основных (ценных) промысловых видов рыб

Местоположение	Виды нерестящихся рыб
Столинский район	
1. Озера Долгое, Карасин, ур. Жобот	Лещ, язь, сазан
2. Устье р. Горынь, ур. Хибище	Практически все виды промысловых рыб, в т.ч. сом
3. Оз. Дубище, пойма правого берега р. Припять в ур. Полянка	Лещ, язь
4. Левый берег р. Припять, оз. Ятель	Сазан
5. По правому берегу р. Припять оз. Старуха, по левому оз. Залуненне, старицы	Язь
6. Староречье р. Горынь (Великие Луки)	Сазан (каarp), язь
7. Пойма правого берега р. Припять от впадения р. Бобрик ур. Рожки	Лещ, линь, сом, судак
8. Оз. Церковно, старицы левого берега р. Припять	Щука, лещ
Пинский район	
9. Пойма левого берега р. Припять между руслом, д. Кривичи	Щука, лещ, линь
10. Староречье правого берега р. Припять напротив пристани	Судак, лещ
11. Пойма правого берега р. Припять на запад от д. Лемешевичи	Щука, лещ
12. Пойма правого берега р. Припять на север от д. Тупчицы	Щука, лещ
13. Староречье р. Стырь, старицы по обоим берегам р. Стырь	Щука, лещ, линь, карась серебряный
Лунинецкий район	
14. По правому берегу р. Припять оз. Старуха, по левому – оз. Залуненне, старицы	Язь
15. Оз. Большой Погост, старицы левого берега р. Припять	Плотва, окунь, густера
16. Старицы левого и правого берегов р. Припять	Плотва, окунь, густера, краснопёрка
17. Старицы левого, правого берегов р. Припять напротив поста Кожан-Городок	Язь
18. Пойма правого берега р. Припять	Щука, лещ

В последние годы отмечено снижение уровня воспроизводства ценных видов рыб на участке р. Припять от г. Пинск до г. Туров. Основные причины:

1) сооружение противопаводковых дамб в пойме р. Припять (препятствуют выходу речных вод на участки поймы, пригодные для нереста большинства фитофильных



видов рыб), что привело к сокращению на обвалованных участках поймы площади нерестовых угодий для этих видов рыб (в том числе и хозяйственно ценных);

2) спрямление русла р. Припять и, как следствие, образование многочисленных стариц, которые быстро утрачивают связь с основным руслом и становятся недоступными для нереста.

На территории бассейна р. Припять встречаются 3 вида рыб семейства карповых, включенных в Красную книгу Республики Беларусь [10] (статус охраны – III категория): обыкновенный усач, обыкновенный подуст и обыкновенный рыбец. Стерлядь, обитание которой на территории заказника определено по литературным источникам и данным опросов, относится к I категории охраны. Ряд видов рыб занесен в аннотированный список видов Красной книги Республики Беларусь: обыкновенный сом (статус – требует внимания), ерш Баллона и обыкновенный вьюн (статус – недостаточно данных).

Национальный Международный охранный статус видов рыб приведен в таблице 4. Большая часть видов (чехонь, обыкновенный жерех, быстрянка, бычок-гонец, обыкновенный голянь и др.) в Красном списке Международного союза охраны природы (IUCN, 2008, ver. 3.1) имеет статус «вызывающий наименьшие опасения» (категория LC); в соответствии с Бернской конвенцией, 16 видов подлежат охране: быстрянка, уклейка, обыкновенный жерех, обыкновенная верховка, чехонь, обыкновенный горчак, обыкновенная щиповка и обыкновенный вьюн и др.

В водоемах бассейна р. Зап. Буг в конце XX ст. было зарегистрировано 39 видов рыб [12]. В той части этого бассейна, которая относится к Брестской области, нами выявлено 34 вида в реках (Лесная, Мухавец с притоками, Копаявка и др.) и 22 вида в озерах (Белое, Черное, Рогознянское, Селяхи), большая часть которых относится к семейству карповых. Доминирующими видами рыб, как и в бассейне р. Припять, являются 5 видов: щука, лещ, обыкновенный ерш, речной окунь и плотва. Рыбы с высокой численностью те же. На долю доминирующих видов приходится 14,7% встреч в реках и 27,3% в озерах. Самой многочисленной группой являются рыбы с невысокой численностью, которые составляют 73,5% в реках и 54,5% в озерах (таблица 2). Ряд видов включены в Красную книгу Беларуси (таблица 4).

Таблица 4. – Редкие виды рыб, их национальный и международный статусы охраны

Вид	Красная книга Республики Беларусь, статус охраны				Статус IUCN, 2008, ver. 3.1, Bern (1979)
	1981	1993	2004	2015	
Украинская минога <i>Eudontomyzon mariae</i>			DD		
Речная минога <i>Lampetra planeri</i> *			II (EN)	I (CR)	Берн III
Стерлядь <i>Acipenser ruthenus</i>	I	I	I (CR)	I (CR)	МСОП, Берн III
Семга <i>Salmo salar</i> *			I	I	Берн III МСОП
Европейская ряпушка <i>Coregonus albula</i> *	II		IV (NT)		Берн III
Кумжа <i>Salmo trutta</i> *			I	I	–
Ручьевая форель <i>Salmo trutta trutta morpha fario</i>	I	I	II (EN)	II (EN)	–
Европейский хариус <i>Thymallus thymallus</i>	II	II	II (EN)	II (EN)	Берн III



Продолжение таблицы 4

Европейская корюшка <i>Osmerus eperlanus</i> *			IV (NT)	IV (NT)	–
Обыкновенный усач <i>Barbus barbus</i>	III	III	III (VU)	III (VU)	МСОП
Обыкновенный рыбец <i>Vimba vimba</i>	II	II	III (VU)	III (VU)	Берн III
Обыкновенный подуст <i>Chondrostoma nasus</i>			III (VU)		Берн III
Озерный голянь <i>Phoxinus phoxinus</i>				III (VU)	
Обыкновенный вьюн <i>Misgurnus fossilis</i>			DD		
Обыкновенный сом <i>Silurus glanis</i>	III		LC		
Ерш Балона <i>Gymnocephalus baloni</i>			DD		
Обыкновенный подкаменщик <i>Cottus gobio</i>			DD		

Примечание: * – рыбы, не встречающиеся в водоемах Брестской области; категории Красной книги Республики Беларусь (в основном соответствуют категориям МСОП): CR – находящиеся под глобальной угрозой исчезновения; EN – находящиеся под критической угрозой исчезновения; VU – уязвимые; NT – близкие к первым трем категориям; DD – недостаточно данных; LC – требующие внимания.

Отметим, что ихтиофауна озер Шацкого национального парка (Украина) включает 30 видов и 2 гибридные формы. Доминирующими видами в большинстве водоемов являются щука, плотва, красноперка, серебряный карась, лещ, окунь и американский сомик [26]. В водоемах Полесского Национального парка (Польша) зарегистрировано 19 видов рыб [27].

Бассейн р. Щара занимает значительно меньшую территорию, чем бассейны рек Припять и Зап. Буг. Здесь меньше озер, крупных вовсе нет, отсутствуют рыбхозы. В бассейне р. Щара зарегистрировано 37 видов речных рыб, в озерах – 19 видов (таблица 1). Рыбы с высокой численностью в реках и озерах этого бассейна являются те же, что и в бассейнах рек Припять и Зап. Буг. На долю малочисленных речных видов приходится 67,6%, а на долю рыб озер – 45,0%. Специфическими для водоемов бассейна р. Щара являются ручьевая минога, хариус, девятииглая и трехиглая колюшка. Ряд видов являются редкими и охраняемыми. Количество инвазивных видов рыб значительно меньше, чем в бассейне р. Припять.

Существенная разница в составе ихтиофауны наблюдается между бассейнами рек Щара и Припять. Только в бассейне р. Щара обитают хариус и ручьевая форель. Большое разнообразие имеется и в количественном соотношении видов, многие из которых распределены по бассейнам весьма неравномерно (таблица 1). Например, верховка характерна для малых рек бассейна р. Припять, в других бассейнах встречается единично; обыкновенный жерех, малочисленный в озерах бассейна р. Припять, в озерах бассейнов рек Зап. Буг и Щара не встречается. Общими видами для бассейнов трех рек являются 32 вида (61,5%) из всех 52 видов, встречающихся в юго-западной Беларуси; для озер общими являются 16 видов (51,6%).

В настоящее время наблюдается сокращение численности и ареалов ряда видов рыб региона, с одной стороны, с другой – появление чужеродных видов. Основными причинами сокращения численности и ареалов рыб является антропогенный фактор, который резко ускорил преобразование ихтиофауны на протяжении последних 50 лет. Действия антропогенных факторов на экосистемы водоемов и ихтиоценозы выражается в трансформации местообитания рыб и нарушении условий их жизни. Отметим: за последние 100 лет из водоемов Беларуси исчезли белуга, русский осетр, балтийский осетр



и другие виды. В первое издание Красной книги Республики Беларусь [8] были включены 7 видов рыб: стерлядь, ручьевая форель и др., – состояние популяций которых квалифицировано как редкие или находящиеся под угрозой исчезновения. Обыкновенный сом и ряпушка, численность которых значительно увеличилась, были исключены из второго издания Красной книги [9], остальные виды были оставлены в Красной книге (таблица 3).

В третье издание Красной книги Беларуси [10] были включены новые виды рыб в связи с изменением подходов МСОП к оценке таксонов на основе новых категорий и критериев. Были внесены 14 видов рыб и 2 вида круглоротых (речная и украинская миноги), при этом 5 видов рыбообразных включены в приложение к Красной книге. В четвертое издание Красной книги Республики Беларусь включены 10 видов рыбообразных; 2 вида (обыкновенный подуст и европейская ряпушка) из нее были исключены.

На территории Брестской области находится ООПТ [28], в которых имеются водоемы, реки, каналы, озера и водохранилища. Этим водоемам характерны определенные ихтиокомплексы. В бассейне р. Припять находятся заказники республиканского и местного значения: Средняя Припять, Простырь, Выгонощанской, Ольманские болота, Низовье Ясельды, Низовье Случи, Устье Лани и др., – в которых имеется относительно высокая речная сеть, много старичных озер или крупных озер (Выгонощанское, Бобровичское и др.). Определенный вклад в охрану и восстановление численности некоторых видов рыб (стерлядь и др.) вносят рыбхозы («Селец» и др.), которые выращивают мальков рыб с целью их выпуска в реки и озера.

В бассейне р. Зап. Буг также имеются ООПТ, в которых находятся водоемы с определенными ихтиокомплексами. Это НП «Беловежская пушта», биосферный резерват «Прибужское Полесье», биологический заказник республиканского значения «Луково» и др.

В бассейне р. Щара создано ряд заказников местного значения. Здесь следует упомянуть биологический (ихтиологический) заказник «Стронга» – первый ихтиологический заказник на территории Брестской области с целью сохранения ценных природных комплексов и исчезающего вида рыб (ручьевой форели). В заказнике протекают реки Исса и Лохозва [28]; гидрологический заказник «Гривда – Урочь», «Липск», «Цыгань». Существенная разница в составе ихтиофауны отмечена между бассейнами рек Щара и Припять. Больше разнообразие имеется и в количественном соотношении видов, многие из которых распределены по бассейнам весьма неравномерно. Например, верховка характерна для малых озер Припяти, в других бассейнах встречается единично; язь обычен для озер бассейна р. Щара, малочисленен в озерах бассейна р. Припять.

Оценка сходства видового состава рыб речных бассейнов Зап. Буга, Щары и Припяти указывает на общность фауны рыб в границах зоогеографических провинций морских бассейнов и на происходящее в последнее десятилетие существенное изменение в составе их фауны. Эти изменения связаны с проникновением видов с других водных систем и зачастую неконтролируемым расселением видов, глобальным потеплением климата.

Для некоторых видов рыб был изменен статус охраны (таблица 4). При экосистемной концепции охраны рыб основной задачей является сохранение среды их обитания. Сохранение водоемов может обеспечиваться путем ведения мониторинга их состояния и их охраны. Охрана ихтиоценозов обеспечивается контролем за их структурой, недопущением проникновения в водоемы инвазивных видов рыб, восстановлением сокративших свою численность видов путем их акклиматизации или реакклиматизации.



Среди рыб Брестской области имеется ряд видов, которые имеют сходный с охраняемыми видами экологический статус. Это группа потенциально уязвимых видов, которые при ухудшении экологических условий могут перейти в разряд охраняемых: жерех, белоглазка, донской ерш и др. В связи с этим требуется мониторинг состояния их популяций. Видовая концепция охраны рыб предполагает сохранение или восстановление системы интегрированных популяций. При сохранении отдельных видов, если риск вымирания таксонов велик, необходимо создавать новые популяции, поддерживать и увеличивать численность популяций, а при необходимости вводить полный запрет на вылов таких рыб или регламентировать их промысел. При выборе приоритетов в охране рыб предпочтение необходимо отдавать популяционному или экосистемному подходу в зависимости от статуса водоема (охраняемая территория, рыбохозяйственная, комплексного назначения и т.д.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов, В. Б. Проблемы охраны рыб водоемов Беларуси / В. Б. Петухов, Т. М. Шевцова // Красная книга Республики Беларусь: состояние, проблемы, перспективы : материалы Респ. науч. конф., Витебск, 12–13 дек. 2002 г. – Витебск : ВТУ имени П. М. Машерова, 2002. – С. 14–16.
2. Петухов, В. Б. Динамика биологического разнообразия рыб водоемов Беларуси, проблемы и перспективы его сохранения и устойчивого использования / В. Б. Петухов // Динамика биологического разнообразия фауны, проблемы и перспективы устойчивого использования и охраны животного Беларуси : тез. докл. IX зоол. науч. конф., Минск, 2004. – Минск : Мэджик бук, 2004. – С. 8–11.
3. Жуков, П. И. Рыбы бассейна Немана / П. И. Жуков. – Минск : Из-во АН БССР, 1958. – 192 с.
4. Жуков, П. И. Рыбы Беларуси / П. И. Жуков. – Минск, 1965. – 416 с.
5. Жуков, П. И. Справочник по экологии пресноводных рыб / П. И. Жуков. – Минск, 1988. – 310 с.
6. Рыбы. Популярный энциклопедический справочник / под ред. П. И. Жукова. – Минск : Беларус. Сов. Энцикл., 1983. – 311 с.
7. Гричик, В. В. Животный мир Беларуси / В. В. Гричик, Л. Д. Бурко. – Минск : Изд. центр БГУ. – 2013. – 399 с.
8. Красная книга Белорусской ССР. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растения. – Минск : БСЭ имени П. Бровки, 1981. – 288 с.
9. Чырвоная кніга Рэспублікі Беларусь / рэдкал.: А. М. Дарафееў (старш.) [і інш.]. – Мінск : Беларус. Энцыкл., 1993. – 560 с.
10. Красная книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / гл. редкол.: Л. И. Хоружик (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларус. Энцыкл., 2004. – 320 с.
11. Петухов, В. Б. Биологическое разнообразие рыб водоемов Беларуси и проблемы его изучения и сохранения / В. Б. Петухов // Структурно-функциональное состояние биологического разнообразия животного мира Беларуси : тез. докл. VIII зоол. науч. конф., Минск, 1999. – Минск : Право и экономика, 1999. – С. 193–195.
12. Петухов, В. Б. Ихтиофауна водоемов Беларуси на рубеже XXI в., принципы ее сохранения и использования : материалы междунар. науч. конф., Минск, 28–30 нояб. 2001 г. / В. Б. Петухов. – Минск : БГУ, 2001. – С. 240–243.
13. Ризевский, В. К. Экологические группы рыб речных и озерных ихтиоценозов Беларуси / В. К. Ризевский // Антропогенная динамика ландшафтов и проблемы со-



хранения и устойчивого использования биологического разнообразия : материалы Респ. науч.-практ. конф., Минск, 26–28 декаб. 2001 г. – Минск : БГПУ, 2002. – С. 186–187.

14. Шевцова, Т. Н. Хронологическая динамика ихтиофауны бассейна р. Припять / Т. Н. Шевцова [и др.] // Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий : материалы IV науч.-практ. конф. – Гомель, 2002. – С. 248–249.

15. Куницкий, Д. Ф. Роль антропогенных факторов в изменении видового состава рыб бассейна р. Припять / Д. Ф. Куницкий // Структурно-функциональное состояние биологического разнообразия животного мира Беларуси : тез. докл. VIII зоол. науч. конф., Минск, 1999. – Минск : Право и экономика, 1999. – С. 189–191.

16. Куницкий, Д. Ф. Инвазийные виды рыб бассейна р. Припять / Д. Ф. Куницкий, В. К. Ризевский // Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий : материалы IV науч.-практ. конф. – Гомель, 2002. – С. 135–137.

17. Ризевский, В. К. Чужеродные виды рыб в водоемах Беларуси / В. К. Ризевский, М. В. Плюта // Динамика биологического разнообразия фауны, проблемы и перспективы устойчивого использования и охраны животного мира Беларуси : тез. докл. IX зоол. науч. конф., Минск, 2004. – Минск : Мэджик бук, 2004. – С. 222–223.

18. Ризевский, В. К. Новые виды рыб в фауне Беларуси / В. К. Ризевский [и др.] // Доклады Нац. акад. наук Беларуси. – 2009. – Т. 53, № 3. – С. 96–97.

19. Лукашук, Н. А. Биоразнообразие позвоночных животных биосферного резервата «Прибужское Полесье» / Н. А. Лукашук, В. Е. Гайдук // Биомониторинг природных и трансформированных экосистем : материалы междунар. науч.-практ. конф., Брест, 15–16 окт. 2008 г. / редкол.: А. Н. Тарасюк (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2008. – С. 98–102.

20. Гайдук, В. Е. Кадастр позвоночных животных биосферного резервата «Прибужское Полесье» (Белорусский сектор трансграничного биосферного резервата «Западное Полесье») / В. Е. Гайдук [и др.]. – Брест : Альтернатива. – 2014. – 80 с.

21. Демянчик, В. Т. Биосферный резерват «Прибужское Полесье» / В. Т. Демянчик. – Брест : Академия, 2006. – 196 с.

22. Географія Брэсцкай вобласці. – Брэст, 1996. – Ч. 1. – 156 с.

23. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2010 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2011. – 398 с.

24. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 1998 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 1999. – 203 с.

25. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2005 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2006. – 324 с.

26. Шацьке Поозер'я: характеристика абіотичных і біотичных компонентів екосистем. – Львів : Евросвіт, 2008. – 216 с.

27. Driedzic, R. Kregowce // Poleski park narodowy. – Lublin, 2002. – S. 126–129.

28. Особо охраняемые природные территории Брестской области. – Брест : Обл-типография, 1997. – 164 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 21.05.2015

Gaiduk V.E., Blockaja E.S., Abramova I.V. Dissemination, Habitat Distribution, Abundance Fichlike in the South-western Belarus

In the article presents the data of long-term of research (1967–2014 years) dissemination, habitat distribution, abundance fichlikes. Analyzes the contemporary status of fichlike in the region and their protection. In the south-western Belarus inhabits of 59 species of fichlikes. Inhabit different habitats rivers, lakes, ponds, economy fish industry and canals land-reclamation.



УДК 575.21

Е.П. Климец¹, И.А. Мартысюк²

¹канд. биол. наук, доц., доц. каф. зоологии и генетики

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

²канд. пед. наук, доц., доц. каф. зоологии и генетики

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

ИСТОРИЯ ФЕНЕТИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA* SAY)

В статье изложена история фенетических исследований по формированию ареала колорадского жука в Старом Свете. Сделан анализ работ по выбору фенов и фенокомплексов для выделения внутривидовых группировок в формирующейся части ареала. В изменчивости рисунка на дорзальной стороне тела выделены четыре пары альтернативных вариаций и установлен доминантно-рецессивный моногенный характер их наследования. По частотам двух пар альтернативных фенов (A/A – U, V – W) в юго-западной части Беларуси выделены внутривидовые группировки, соответствующие понятию популяции. Обоснована необходимость дальнейших исследований по изучению фенофона вида.

Введение

Для поддержания существования живого видового многообразия особое значение имеет популяционный уровень, через который осуществляется поток наследственной информации, обеспечивающий преемственность поколений в пространстве и времени, что обеспечивает поддержание популяционного гомеостаза и, в конечном итоге, выживание вида. Популяционный генофонд – совокупность той наследственной информации, которая передаётся от родителей к потомкам и сохраняется во времени и в условиях нормально колеблющейся среды. Однако в резко меняющихся условиях под действием всё усиливающихся нагрузок генетическая структура популяции претерпевает значительные изменения [1]. В связи с этим одной из важнейших задач популяционной биологии является изучение структуры и динамики популяций живых организмов в условиях антропогенной нагрузки, что необходимо для решения ряда теоретических проблем, а также практических разработок [2].

Изучение изменчивости окраски и рисунка на дорзальной стороне тела колорадского жука

Фенооблик колорадского жука определяется фоновой окраской и пигментными пятнами, формирующими рисунок. Фоновая окраска связана с накоплением каротиноидов и варьирует от светло-желтой до темно-коричневой. При поедании колорадским жуком листьев картофеля содержащиеся в них каротиноиды не перевариваются, а в неизменном виде переходят через стенки кишечника и накапливаются в гемолимфе или надкрыльях [3]. Рисунок формируют азотсодержащие пигменты, синтезируемые самим организмом.

Изучением фоновой окраски у колорадского жука занимались многие исследователи. Наиболее детально окраска у колорадского жука была изучена Тауэром [4; 5]. По интенсивности окраски тела Тауэр выделил несколько групп жуков: ксантисты (желтоокрашенные), руфинисты (красноокрашенные), меланисты (черноокрашенные) и альбиносы (светлые). Р.С. Ушатинская отмечает, что меланизация или, наоборот, усиление светлой окраски может происходить за счет изменения основного фона окраски жуков в результате накопления ими темных пигментов в покровах [6]. Кроме того, тем-



ная окраска может усиливаться за счет увеличения или слияния черных или темно-коричневых пятен и полос тела, т.е. возникают меланисты. Альбиносы – это жуки с полным отсутствием рисунка.

Тщательное изучение изменчивости рисунка колорадского жука в Новом Свете (США) проведено Тауэром в конце XIX и в начале XX вв. У рода *Leptinotarsa* по размеру, форме, количеству и интенсивности пигментных пятен на голове Тауэр выделил 16 различных вариантов рисунка. На переднеспинке им выделено 30 различных форм по расположению полос и точек, а также интенсивности проявления пигмента. На элитрах учитывались интенсивность окраски продольных полос, характер их расположения и слияния, а также прерывистость. Всего отмечено около 30 вариантов рисунка [4].

Наиболее значительные исследования по изменчивости рисунка у жуков Западной Европы провели Кризон (1946), а также Jermy и Saringer (1955). Кризон изучал изменчивость рисунка элитр и показал многообразие форм в зависимости от характера слияния полос у основания и вершины элитр, образования поперечных перевязей и изгибов. Кризон отмечал также варьирование длины полос на элитрах [7].

Ерми и Сарингер изучали вариабельность рисунка на переднеспинке и элитрах. Учитывая особенности расположения, характер изгиба продольных полос и возможность их слияния с близко расположенными точками, они выделили на переднеспинке у колорадского жука 12 вариантов рисунка, а на элитрах 8. Работа иллюстрирована фотографиями, а не рисунками. Никаких обозначений элементов сложного рисунка авторы не дают [8].

Из отечественных исследователей первым дает схематическое описание расположения пигментных пятен на переднеспинке и полос на элитрах у колорадского жука Н.Н. Богданов-Катьков, но он не описывает изменчивости рисунка [9]. Первой работой по изменчивости рисунка на переднеспинке является работа Б.В. Яковлева, в которой проанализированы 1 000 жуков первых очагов на территории бывшего СССР [10]. Б.В. Яковлев выделил 20 типов рисунков на переднеспинке. На 15 рисунках отражена вариабельность продольных полос на переднеспинке, а на пяти – степень вариабельности боковых пятен.

Первая попытка выделить составные элементы, образующие сложный рисунок на переднеспинке у колорадского жука сделана Ф.С. Кохманюком и Е.П. Климец [11]. Авторы показывают некоторые направления изменчивости рисунка, частоты встречаемости отдельных элементов в выборках, а также динамику некоторых типов рисунка за шестилетний период. Впервые предложена схема записи фенотипов в виде формулы и введены буквенные обозначения отдельных элементов рисунка. В дальнейшем Кохманюком была унифицирована схема расположения пигментных пятен на переднеспинке колорадского жука, введена новая система обозначений вариаций рисунка и модернизирована формула их записи [12].

А.И. Соколов, изучив вариабельность продольных полос на переднеспинке колорадского жука (изгиб, размер) и возможность слияния их с близко расположенными точками, выделил 32 варианта рисунка [13].

В основу формирования основных типов рисунка на переднеспинке колорадского жука Ю.А. Малоземов положил изменчивость центральных продольных полос, а также возможность слияния их с симметричными точками в передней части переднеспинки и присутствие или отсутствие центральной несимметричной точки в нижней части переднеспинки [14]. Учитывая вышеизложенную изменчивость элементов рисунка переднеспинки, Ю.А. Малоземов выделил 8 типов рисунка на переднеспинке у колорад-



ского жука. На элитрах он отмечает всего одну форму – сросшиеся две полосы в нижней части элитр.

С.Р. Фасулати, используя схему рисунка переднеспинки, предложенную Ф.С. Кохманюком, выделяет 9 вариантов комплексов рисунков на основе изменчивости вертикальных полос А и точек В и Р [15]. На элитрах С.Р. Фасулати выделяет 4 типа рисунка, а Н.А. Овчинникова выделяла всего 2 типа рисунка, или 2 фена на элитрах по характеру соединения продольных полос у вершины элитр [16]. Исходными элементами рисунка переднеспинки являются одиночная линия или пятно, которое варьирует, увеличиваясь в размерах и количестве, считает И.В. Еремина [17]. В изменчивости отдельных элементов рисунка она выделяет параллельные ряды изменчивости.

Большинство исследователей, занимающихся изучением рисунка на дорсальной стороне тела у колорадского жука, отдельные элементы рисунка называют вариациями, типами, но не фенами, так как абсолютно точно выделить фены можно только при генетическом анализе. Генетическим анализом выявляется дискретность фенотипа в виде элементарных признаков или фенов, соответствующих молекулярной дискретности генных продуктов, которые в конечном итоге и ответственны за все процессы в клетке и организме [18]. Дискретность фенотипа колорадского жука отмечена рядом авторов: [12; 15; 16].

Выделение фенов и изучение характера их наследования

Присутствие того или иного фена может маркировать присутствие в генотипе (и, соответственно, в генофонде) одного из аллелей нескольких, а иногда многих генов. Следовательно, фены могут быть использованы как признаки-маркеры генотипа [19]. Н.А. Овчинникова и Г.В. Маркелов установили моногенный характер наследования по типу полного доминирования одной пары альтернативных признаков на элитрах колорадского жука, которые можно считать фенами, отражающими часть генотипа [16].

Путь от гена к признаку достаточно сложный, и сам факт транскрипции конкретного локуса еще не означает, что контролируемый им признак найдет выражение в фенотипе. Гены лишь обеспечивают возможность для проявления фенотипа, доставляя программу для его создания в разных условиях. В фенотипе никогда не реализуются все генетические возможности, фенотип каждого организма есть лишь частный случай проявления его генотипа в конкретных условиях развития. В эти условия входит как внешняя, так и генетическая среда [20]. Фенотип многоклеточного организма рассматривается сейчас «не как мозаика признаков, контролируемых отдельными генами, а как общий продукт взаимодействия многих тысяч генов в онтогенезе» [21].

К построению взрослого функционирующего организма из оплодотворенного яйца приводят сложные процессы развития, связанные между собой в систему, которую К. Уоддингтон назвал «эпигенотипом» [22]. Под «эпигенотипом» понимается система путей развития, каждый из которых ведет к одному из компонентов взрослой формы.

В цепи «ген – признак» протекают сложные процессы, поэтому непонятная до сих пор механика процессов наследственного осуществления (пути от гена к фену) определяет многие трудности выявления фенов как маркеров генотипа. Учитывая всю сложность взаимоотношений генотипа и фенотипа (гена и фена), возможно использование фенов лишь в качестве широких маркеров, поскольку присутствие того или иного фена может маркировать присутствие в генотипе одного из аллелей нескольких, иногда многих генов [19].



Использование фенов как признаков-маркеров генотипа осложнено еще существованием псевдофенов, или «ложных» фенов. По определению А.В. Яблокова, «ложные фены – это такие признаки фенотипа, которые не могут маркировать данный генотип вообще, а являются маркерами каких-то внешних условий» [19].

Сложность взаимоотношений гена и признака подтверждается лабораторными экспериментами, которые проводил С.Р. Фасулати с колорадским жуком. Проведенная система скрещиваний жуков, маркированных шестью феноформами, показала отсутствие единообразия фенотипического состава потомства, а также зависимость фенотипического состава потомства от фенотипической принадлежности родителей, географической и сортовой принадлежности исходной популяции вредителя, и не позволила установить характер наследования изучаемых феноформ [15]. На наш взгляд, сделанные выводы объясняются не только полигенным характером наследования рисуночных форм у колорадского жука, но и тем, что С.Р. Фасулати изучал наследование не фенов, а их комплексов.

Проведённые нами исследования по изучению изменчивости рисунка на дорзальной стороне тела позволили, на наш взгляд, разработать удачную схему расположения и систему кодирования дискретных элементов, которая представлена на рисунке 1.

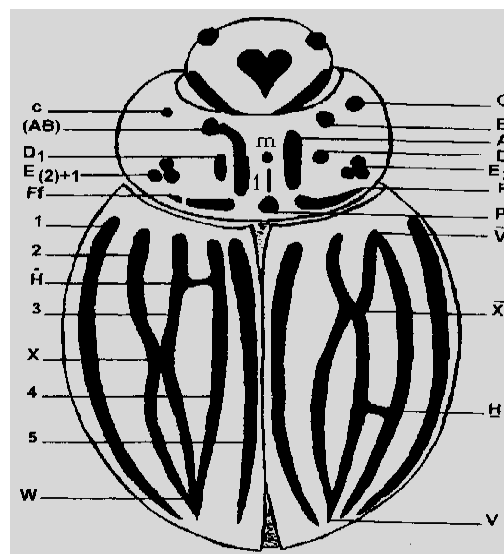


Рисунок 1. – Схема расположения элементов меланинового рисунка на переднеспинке и элитрах колорадского жука

Генетический анализ наследования отдельных элементов рисунка переднеспинки и элитр позволил установить характер наследования четырёх пар альтернативных признаков. Для выявления генетической детерминации вариаций было проведено скрещивание 10 пар жуков. Схема скрещивания полностью определена фенотипами жуков, полученных в лабораторных условиях и вступивших в копуляцию.

Анализ фенотипов родительских особей и первого поколения позволил выделить три группы вариаций. Одна группа вариаций в разном их сочетании при скрещивании дает четкое стабильное закономерное расщепление. Вторая группа вариаций дает широкий спектр расщепления в первом поколении по сравнению с родительскими формами, маркированными одинаковыми или альтернативными вариациями. Третья груп-



па – редкие вариации и комплексы, отмеченные у единичных особей F1 и родителей и также не обнаруживающие четкого закономерного расщепления.

Результаты анализа по наследованию четырех пар альтернативных вариаций рисунка на переднеспинке и элитрах показали четкое закономерное расщепление. При анализе вариаций A/A и U учитывалось слияние полос A внизу или полосы не сливаются. В вариациях P+ и P–, M+ и M– – присутствие или отсутствие элемента. В вариациях V и W – полное слияние 3 и 4 полос и 2, 3, 4 полос – вершины элитр.

Результаты по скрещиванию родительских пар, маркированных альтернативными вариациями A/A и U, P+ и P–, M+ и M–, V и W, и их статистическое сравнение показали, что эти вариации наследуются моногенно и наблюдается явление полного доминирования. Вариация A/A, P+, M+, V – доминантные, а U, P–, M– и W – рецессивные. Эти вариации четко выделяются, альтернативны, наследуются и поэтому могут быть использованы для изучения внутривидовой дифференциации и динамики генетической структуры популяций колорадского жука.

Пространственная дифференциация колорадского жука

Фенетические методы, основанные на выделении и учете частот фенов, позволяют выделить популяции как реальные устойчивые естественно-исторические совокупности особей данного вида. Это можно сделать, исходя из определения популяции как минимальной самовоспроизводящейся группы особей, на протяжении эволюционно длительного времени населяющей определенное пространство, образующей самостоятельную генетическую систему.

Объективное выделение популяций в природе возможно по сохранению и перепадку частот генотипов (аллелей) в изучаемых группах особей, а посему использование фенов, являющихся маркерами генотипа, может быть эффективным приемом для выделения популяций в природе. Так, если в природе обнаруживаем группу особей, сохраняющую на протяжении многих поколений стабильность фено-генетических характеристик, то такую группу можно считать популяцией, в отличие от группы особей, выделяющихся лишь в определенные годы, но не сохраняющей стабильности частот фенов на протяжении хотя бы нескольких поколений [2].

Фенетический подход при изучении пространственной структуры колорадского жука был использован рядом авторов [11; 13; 15; 16], однако до сих пор нет четкой картины о дифференциации ареала этого вида. А.И. Соколов и С.Р. Фасулати, изучая феногеографию колорадского жука с целью выделения популяций, использовали практически одни и те же вариации рисунка, но за разные годы. Оказалось, что выделенные ими границы популяций на территории Европейской части СНГ не совпадают (рисунок 2). Картограмма границ популяций, выделенных А.И. Соколовым и С.Р. Фасулати, составлена нами на основании текстового описания авторов [13; 15].

А.И. Соколов по частотам 32 вариаций (автор считает их фенами) на переднеспинке у колорадского жука выделил четыре популяции: западную (Западная Украина, западная часть Беларуси, Прибалтика, северо-запад Нечерноземной зоны); украинскую (левобережье Украины); центральную (ЦЧО, южная и центральная части Нечерноземной зоны); северную (севернее Ивановской области) [13]. Каждая популяция характеризуется специфичным разнообразием фенов. Наибольшее разнообразие фенов свойственно первой популяции (26), а наименьшее – северной (16). С.Р. Фасулати на территории Европейской части бывшего СССР по частотам 9 феноккомплексов



на переднеспинке у колорадского жука выделил 5 популяций, границы которых показаны на рисунке 2 [15].

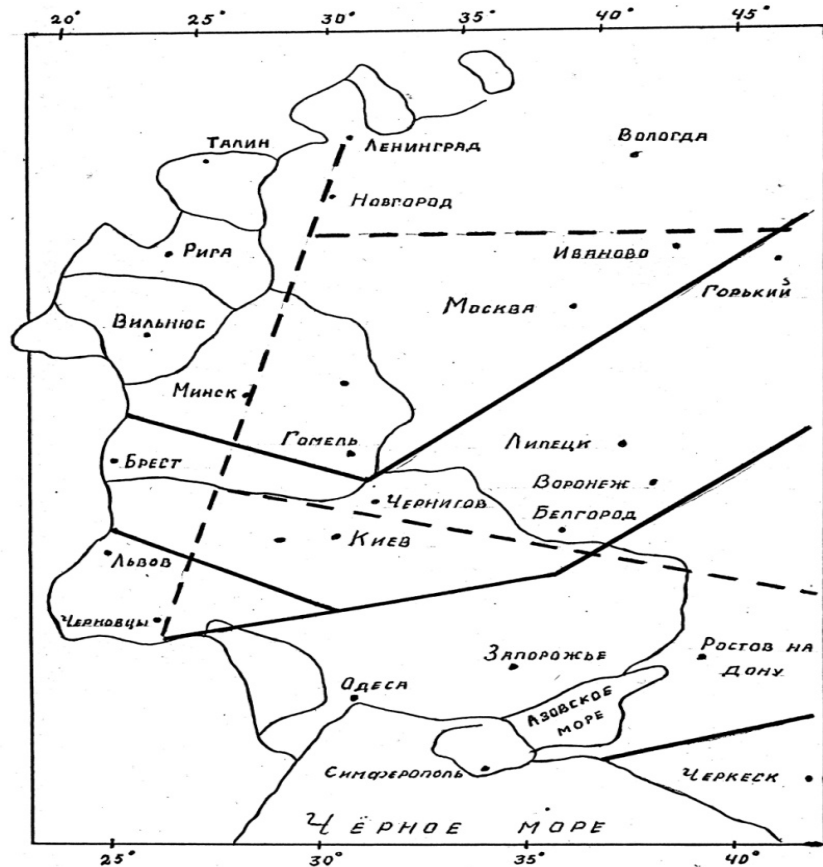


Рисунок 2. – Границы популяций колорадского жука
в Европейской части СНГ, выделенные разными авторами:
----- Соколов (1979)
————— Фасулати (1987)

Ф.С. Кохманюк считает, что на территории Восточно-Европейской части ареала колорадского жука можно выделить 5 популяций, причем Западную и Центральную популяции, выделенные А.И. Соколовым, считает необходимым разделить на три [12]. Р.М. Зелеев, используя фенокомплексы переднеспинки и надкрыльев колорадского жука, выделяет внутривидовые группировки в окрестностях Казани, однако ранг их не уточняет [23].

Несовпадение выделяемого числа популяций (и популяционных границ) у разных авторов можно объяснить тем, что в одном случае анализируется небольшое число жуков, собранных на обширной территории (А.И. Соколовым проанализировано всего 2 000 жуков), а число учитываемых фенокомплексов достаточно велико – 32 + редкие фены. Вполне вероятно, что некоторые фенокомплексы в малых выборках могли отсутствовать. Другим источником неточностей может быть сравнение данных, полученных за короткие и несопоставимые между собой периоды времени, а также в связи с тем, что фенетическая структура выборок из разных популяций может меняться, так как ко-



лорадский жук испытывает постоянное сильное антропогенное воздействие и особенно вследствие проводимых с ним мер борьбы.

Для выделения популяций необходим анализ фенетической структуры ряда поколений вида на разных территориях за несколько лет. Имеющиеся у нас материалы позволили провести микрофеногеографическое изучение колорадского жука на территории Брестской области за период с 1981 по 1990 гг.

Фенетическая структура колорадского жука юго-западной части Беларуси

Имеющиеся коллекционные сборы колорадского жука из разных районов Брестской области за разные годы позволили дать оценку внутривидовой дифференциации вида в юго-западной части Беларуси. Систематическое изучение географической изменчивости в 17 районах области проводилось с 1981 г. по 1990 г. по частотам двух пар альтернативных фенов $A/A - U$, $V - W$, наследование которых установлено как моногенное с явлением полного доминирования.

Ежегодное сравнение выборок между собой и оценка данных по частотам двух пар альтернативных фенов методом χ^2 показывает достоверные различия между выборками северо-восточных, центральных и юго-западных районов. Однако закономерной дифференциации не обнаруживается, так как некоторые близко расположенные выборки иногда статистически различаются, а более удаленные – нет. Это не позволяет уверенно провести границы между наметившимися группировками. На изучаемой территории ежегодно формируются какие-то мелкие группировки, которые на следующий год могут исчезать, следовательно, они не соответствуют понятию популяции.

Обобщенные данные по каждому району за весь период изучения показали закономерную картину распределения частот фенов. Рецессивных фенов U и W в любой выборке и за любой год оказывается значительно меньше, чем доминантных A/A и V . Средний процент рецессивного фена W за 10-летний период наблюдений самый низкий, даже в сравнении с другим рецессивным феном U , процент которого тоже невысок. Сравнение выборок по средним значениям альтернативных фенов позволяет по распределению средних многолетних значений частот фенов $A/A - U$ на территории Брестской области выделить 3 группировки: северо-восточную, центральную и юго-западную (рисунок 3), а по фенам V и W две: юго-западную и северо-восточную (рисунок 4).

Проведенное изучение пространственной и временной динамики частот фенов позволяет предположить, что фены $A - U$ являются маркерами более мелких внутривидовых группировок колорадского жука, так как перепады частот по годам у них более значительны, а фены V и W , обладающие большей стабильностью, вероятно, будут маркировать более крупные группировки. Ранг выделенных трех группировок по частотам фенов $A - U$ на юго-западе Беларуси определить сложно без анализа структуры вида на больших территориях по многим выборкам, расположенным на небольших расстояниях друг от друга.

Таким образом, наше микрофеногеографическое исследование показало, что на фоне огромной численности и изменчивости изучение внутривидовой структуры колорадского жука должно быть основано на многолетнем сравнении частот фенов. Данные, полученные лишь за 1–2 года (2–4 поколения) могут отразить существование эфимерных, быстро возникающих и исчезающих внутривидовых групп. Для выделения популяций необходимы макрофеногеографические исследования, так как ареалы популяций довольно велики.

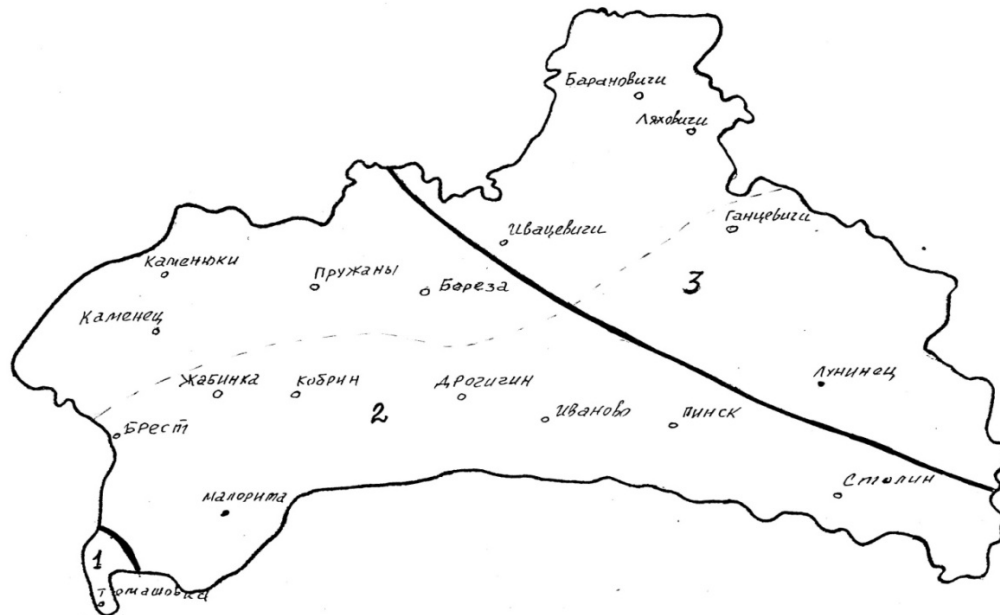


Рисунок 3. – Внутривидовые группировки, выделенные по перепаду средних значений частот альтернативных фенов A/A – U за период с 1981 по 1990 гг.



Рисунок 4. – Внутривидовые группировки, выделенные по перепаду средних значений частот альтернативных фенов V – W за период с 1981 по 1990 гг.

Заклучение

Анализ фенетических работ по колорадскому жуку показал, что, несмотря на большое количество публикаций, посвященных изменчивости рисунка у колорадского жука, рисунок на голове никто, кроме Тауэра, не изучал, и нет полного описания вариаций рисунка жуков в новом ареале. Это можно объяснить тем, что ряд авторов, выполняя



популяционные исследования, не ставили перед собой цель выделения дискретных вариаций рисунка, а использовали вариации, описанные другими авторами, или же для анализа использовали только наиболее четко выделяемые элементы рисунка, а не все их разнообразие.

Проведенный генетический анализ позволил выявить генетическую детерминацию только четырёх пар альтернативных вариаций рисунка (фенов). Феногеографические исследования ареала колорадского жука весьма противоречивы и не дают полной картины о внутривидовой дифференциации, поэтому дальнейшие фенетические и популяционные исследования этого вида необходимы для разработки стратегии по снижению его вредоносности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтухов, Ю. П. Генетические процессы в популяциях / Ю. П. Алтухов. – М. : Наука, 1983. – 279 с.
2. Яблоков, А. В. Популяционная биология / А. В. Яблоков. – М. : Высш. шк., 1987. – 303 с.
3. Тыщенко, В. П. Физиология насекомых / В. П. Тыщенко. – М. : Высш. шк., 1986. – 299 с.
4. Tower, W. L. An investigation of evolution in chrysomelid beetles of the genus *Leptinotarsa* / W. L. Tower. – Washington, 1906. – № 48. – 320 p.
5. Tower, W. L. The mechanism of evolution in *Leptinotarsa* / W. L. Tower. – Washington, 1918. – Publ. 263. – 384 p.
6. Ушатинская, Р. С. Состояние активной жизнедеятельности и физиологического покоя колорадского жука, их место и роль в жизненном потенциале вида / Р. С. Ушатинская // Колорадский картофельный жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say). – М. : Наука, 1981. – С. 202–250.
7. Grison, P. Les variations de pigmentation des elytres chez le doryphore (*Leptinotarsa decemlineata* Say) / P. Grison // Ann. Epiphyt. Ser. Entomol., 1946. – Vol. 12, № 13. – P. 377–382.
8. Jermy, T. A burgonyabodár elleni védekezés biológiai nehézségei / T. Jermy, G. Saringer // Magyar tudományos akadémia agrártudományok osztályának közleményei. – Budapest. – 1955. – K. 8, № 1–2. – Ol. 40–44.
9. Богданов-Катков, Н. Н. Колорадский картофельный жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say) и его карантинное значение / Н. Н. Богданов-Катков. – М. ; Л. : Сельхозгиз, 1947. – 198 с.
10. Яковлев, Б. В. Колорадский картофельный жук и меры борьбы с ним / Б. В. Яковлев. – М. : Сельхозгиз, 1950. – 64 с.
11. Кохманюк, Ф. С. О фенетической структуре популяций колорадского жука / Ф. С. Кохманюк, Е. П. Климец // Биологические основы освоения, реконструкции и охраны животного мира Белоруссии : тез. докл. IV зоол. конф. БССР. – Минск, 1976. – С. 175–176.
12. Кохманюк, Ф. С. Изменчивость фенетической структуры популяций колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) в пределах ареала / Ф. С. Кохманюк // Фенетика популяций : сборник. – М. : Наука, 1982. – С. 233–243.



13. Соколов, А. Изменчивость морфологических признаков колорадского жука / А. Соколов // Вопросы экологии и охраны животного мира нечерномоземной зоны РСФСР. – Иваново, 1979. – С.110–117.
14. Малозёмов, Ю. А. Изменчивость некоторых признаков колорадского жука / Ю. А. Малозёмов // Фауна Урала и Европейского севера : сборник. – Свердловск, 1981. – С. 73–82.
15. Фасулати, С. Р. Внутривидовая структура колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera, Chrysomelidae) и популяционно-биологические аспекты устойчивости к нему сортов картофеля : дис ... канд. биол. наук / С. Р. Фасулати. – Л., 1987. – 159 с.
16. Овчинникова, Н. А. Внутривидовая изменчивость колорадского жука в Липецкой области / Н. А. Овчинникова, Г. В. Маркелов // Биол. науки. – 1982, № 7. – С. 63–67.
17. Еремина, И. В. Кибернетическая схема регуляции внутривидовых процессов / И. В. Ерёмина. – М., 1982. – 10 с.
18. Инге-Вечтомов, С. Г. Генетика с основами селекции / С. Г. Инге-Вечтомов. – М. : Высш. шк., 1989. – 592 с.
19. Яблоков, А. В. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости как теоретическая основа фенетики популяций / А. В. Яблоков // Вавиловское наследие в современной биологии : сборник. – М. : Наука, 1989. – С. 27–36.
20. Конюхов, Б. В. Генетика развития позвоночных / Б. В. Конюхов. – М. : Наука, 1980. – 292 с.
21. Конюхов, Б. В. Экспрессия и взаимодействие генов в онтогенезе млекопитающих / Б. В. Конюхов // Биология развития и управление наследственностью : сборник. – М. : Наука, 1986. – С. 256–267.
22. Wadlington, C. H. The strategy of the Genes / C. H. Wadlington. – London : Allen Unwin, 1957. – 310 p.
23. Зелеев, Р. М. Оценка полиморфизма рисунка переднеспинки и надкрылий колорадского жука, *Leptinotarsa decemlineata* Say, в окрестностях Казани / Р. М. Зелеев // Зоологический журнал. – 2002. – Т. 81, № 3. – С. 316–322.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 28.09.2015

Klimet E.P., Martysyuk I.A. History Phenetics-Geographical Research Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa Decemlineata* Say)

The article describes the history of phenetic studies on the formation of the Colorado potato beetle habitat in the Old World. The analysis work at the choice of hair dryers and fenokompleksov to highlight intraspecific groups in forming part of the range. The variability pattern on the dorsal side of the body marked with four pairs of alternative variations and established a dominant-recessive monogenic nature of their inheritance. At frequencies of two pairs of alternative fen (A / A – U, V – W) in the south-western part of Belarus marked intra-group corresponding to the concept of the population. The necessity of further studies on the phene pool view.



УДК 581.8: 633.367

Н.М. Матусевич¹, М.П. Жигар²

¹канд. биол. наук, доц., зав. каф. ботаники и экологии
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина
²канд. биол. наук, профессор каф. ботаники и экологии
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЧЕРЕШКОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЛЮПИНА

В статье представлены данные анатомического исследования черешков трех видов люпина (Lupinus L.). Полученные результаты используются для выявления более примитивных и эволюционно продвинутых видов в роде люпин.

Введение

Черешок выполняет роль посредника между стеблем и листовой пластинкой, прикрепляя лист к стеблю. Он выполняет проводящую и механическую функции, служит органом ориентации листа по отношению к солнцу, способствует ослаблению ударов по листовой пластинке дождя, ветра, града. В анатомическом строении он показывает большое сходство со стеблем растения, включая в себя большое количество тканей. Снаружи черешок покрыт первичной покровной тканью – эпидермисом [1; 2]. Он защищает черешок от неблагоприятных внешних факторов, участвует в паро- и газообмене. Кроме того, эпидермис может принимать участие в восприятии раздражений, в выделении некоторых веществ. Эпидермис является сложной тканью, включая в себя основные эпидермальные клетки, устьичный комплекс, разнообразные выросты – трихомы.

Субэпидермально в черешке обычно залегает колленхима. Это механическая ткань, отличающаяся наличием живого клеточного содержимого и несильным утолщением клеточной оболочки. В зависимости от характера утолщения стенок различают уголковую, пластинчатую, рыхлую и округлую колленхиму [3]. Помимо колленхимы в черешках встречается и другой тип механической ткани – склеренхима. Она представлена толстостенными, плотно прилегающими одна к другой прозенхимными клетками, иногда очень большой длины, с одревесневшими в разной степени клеточными оболочками. Склеренхима находится в виде отдельных тяжей из склеренхимных клеток в основной ткани, сплошных цилиндров из склеренхимной ткани, а также в виде склеренхимных обкладок, армирующих проводящие пучки. Волокна склеренхимы (лубяные, древесинные) могут также встречаться в составе проводящих тканей флоэмы и ксилемы.

Флоэма и ксилема обеспечивают проведение в органах растений тока воды и минеральных веществ в восходящем направлении (ксилема) и тока растворов органических веществ, образованных в результате фотосинтеза (флоэма). Обе ткани являются сложными, состоящими из нескольких типов клеток: проводящих, паренхимных, механических [1].

Тип проводящей системы является наиболее существенным признаком анатомического строения черешка. Основным направлением структурной эволюции черешка является дезинтеграция кольца проводящей ткани, начиная от сплошного массива вторичной ксилемы, образующей замкнутое кольцо, и кончая полной разобщенностью проводящих пучков. Постепенный переход замкнутой проводящей системы в дискрет-



ную хорошо известен для стебля, он характерен и для черешка. С типом проводящей системы обычно связаны и морфологические особенности его [2].

Значительную часть черешка составляет паренхимная ткань. Основные функции этой ткани связаны с синтезом и запасанием органических веществ. Клетки ее не теряют способности к делению и могут возвращаться к меристематическому состоянию.

Объекты и методы исследования

Для сравнительного анатомического изучения черешков были отобраны 3 вида люпина: люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus* Lindl), люпин белый (*Lupinus albus* L.), люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.). Выполнение работы предусматривало сбор полевого материала, его фиксацию, изготовление временных препаратов и их анализ.

Черешки брали у нижних листьев с трех экземпляров растений каждого вида люпина, растущих на территории агробиологического Центра учреждения образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина» и в окрестностях г. Бреста в период цветения. Черешки фиксировали в 96%-ном спирте в течение 5–7 дней. Затем через среднюю часть черешка готовили поперечные срезы с применением лезвия и сердцевин бузины. Срезы помещали в глицерин, покрывали покровным стеклом. Часть срезов окрашивали сафранином и нильским синим. Подготовленные препараты анализировали в световых микроскопах Биолам Р-15, Л-212.

Результаты исследования

Для черешка люпина белого (*Lupinus albus* L.) характерной является овальная форма его поперечного сечения. Снаружи черешок покрыт эпидермой. Это однослойная ткань, состоящая из овальных и слегка вытянутых в антиклинальном направлении живых клеток. Наружная оболочка их слегка утолщена, сверху имеется слой кутикулы. Под эпидермой расположена механическая ткань колленхима. В ее состав входит один, местами два слоя клеток, они содержат хлоропласты. Тангенциальные оболочки клеток этой ткани утолщены, радиальные – тонкие, т.е. колленхима пластинчатого типа.

Коровая паренхима сложена 4–5 слоями клеток, имеющих в поперечном сечении округлую форму. Размеры клеток неодинаковые. Ткань сложена довольно плотно, межклетники имеют незначительные размеры. Наружный слой ее клеток содержит много хлоропластов, содержимое остальных слоев прозрачное.

Проводящая система имеет пучковое строение и представлена 5-ю крупными пучками, 23-мя средних размеров и 12 мелкими коллатеральными пучками, которые расположены в виде сплошного кольца. Над флоэмой пучка склеренхима образует склеренхимное влагалище. Оно имеет вид «шапочки» из 3–6 слоев клеток с равномерно и не сильно утолщенными оболочками. В крупных пучках из прокамбия образуется камбий, и они становятся открытыми, пучки средних и мелких размеров закрытого типа.

Меристематическая активность охватывает также клетки межпучковой паренхимы, причем камбий здесь образует только элементы вторичной ксилемы. При этом раньше идет формирование проводящих элементов на абаксиальной, а затем – на адаксиальной стороне черешка. Кроме того, клетки межпучковой паренхимы склерифицируются, эта ткань соединяет проводящие пучки, образуется «ложное кольцо».

Клетки сердцевин отличаются крупными размерами, тонкими оболочками, прозрачным внутренним содержимым, округлой формой поперечника. В сложении этой ткани наблюдаются небольшие межклетники.



Форма поперечного сечения черешка люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) желобчатая. Снаружи он также покрыт однослойной эпидермой, которая сложена овальными в поперечном сечении живыми клетками с утолщенной наружной оболочкой и слоем кутикулы. Характерно развитие одноклеточных кроющих волосков разной длины.

Субэпидермально залегает колленхима округлого типа. Она состоит из двух слоев клеток с неравномерно утолщенными тангентальными и радиальными стенками. Ее клетки содержат хлоропласты, в некоторых клетках находятся танины и окраска их внутреннего содержимого темная.

Коровая паренхима представлена плотно расположенными клетками овальной, округлой и многоугольной формы различных размеров. Внешний ее слой содержит хлоропласты. В составе коровой паренхимы 4–5 слоев клеток.

В отличие от предыдущего вида проводящая система у люпина узколистного имеет пучковое строение и представлена 7 крупными и 20 мелкими коллатеральными пучками, которые расположены в виде истинного кольца. Над флоэмой пучков располагается склеренхимное влагалище в виде узкой полосы, составленной 3–4 слоями клеток с равномерно утолщенными оболочками. Проводящие пучки отделены друг от друга участками паренхимной ткани из тонкостенных клеток.

Сердцевина включает в себя клетки округлой и округло-волнистой формы различных размеров с прозрачным внутренним содержимым.

Форма поперечного сечения черешка люпина многолистного (*Lupinus polyphyllus* Lindl) округлая. Снаружи черешок покрыт однослойной эпидермой, которая представлена округло-квадратными в поперечном сечении живыми клетками с утолщенной наружной оболочкой и кутикулой. Имеются многоклеточные кроющие волоски различной длины. Колленхима однослойная, пластинчатого типа, в ее клетках содержатся хлоропласты.

Коровая паренхима имеет в своем составе до 6 слоев клеток округлой и овальной формы, расположенных плотно. Клетки самого внешнего слоя этой ткани содержат хлоропласты.

Проводящая система черешка имеет пучковое строение и содержит 3 крупных, 18 средних и 12 мелких коллатеральных пучков, которые расположены в виде сплошного «ложного» кольца. Межпучковые участки состоят из волокон склеренхимы, среди которых единично встречаются сосуды ксилемы.

Проводящие пучки армированы склеренхимой. Над флоэмой склеренхима образует склеренхимное влагалище, которое имеет вид полосы из 4–5 слоев клеток с равномерно и несильно утолщенными оболочками. Межпучковые участки состоят из волокон склеренхимы, среди которых единично встречаются сосуды ксилемы.

Сердцевина включает в себя клетки округлой и округло-волнистой формы различных размеров с тонкими оболочками.

Заклучение

Сравнительно-анатомическое изучение черешков *Lupinus polyphyllus* Lindl, *Lupinus albus* L. и *Lupinus angustifolius* L. показало большое сходство в тканевом составе и в топографии их тканей. Начиная с периферии черешка здесь имеются следующие ткани: эпидерма, механическая ткань колленхима, коровая паренхима, проводящие пучки, сердцевина.



Эпидерма у всех изученных видов однослойная. Оболочки ее клеток не достигают большой толщины, более утолщена наружная тангенциальная стенка у эпидермальных клеток черешка люпина узколистного и люпина многолистного. Кутикула у всех видов тонкая. В эпидерме люпина узколистного и люпина многолистного развиты волоски. У обоих видов они кроющего типа, но у люпина узколистного они одноклеточные, у люпина многолистного – многоклеточные. У люпина белого трихом нет. В.И. Бойко для семейства Вересковых, Н.М. Матусевич для семейства Розоцветных указали, что наличие трихом, их типы являются важным диагностическим признаком [5; 6].

Степень развития колленхимы у изученных видов неодинакова: у люпина многолистного она однослойная, у люпина белого – однослойная, но местами двуслойная, у люпина узколистного эта ткань представлена двумя слоями клеток. Наши данные не совпадают с данными У.Ф. Борисовой, которая у видов люпина американского происхождения отмечает трехслойную колленхиму, связывая степень развития этой ткани с происхождением люпина [2]. В наших исследованиях у видов средиземноморского происхождения (*Lupinus albus* и *Lupinus angustifolius*) 1–2-слойная колленхима, у *Lupinus polyphyllus* (из Северной Америки) в черешке отмечен 1 слой колленхимы. Нет корреляции и между степенью развития колленхимы и числом листочков пальчато-сложного листа у изученных видов люпина. У средиземноморских видов люпина белого 5 листочков, у люпина узколистного – 5–9; у американского люпина многолистного в листе 13–15 листочков.

Коровая паренхима в черешках складывается из 4–6 слоев клеток. У всех трех видов первый (наружный) слой этой ткани в своих клетках содержит много хлоропластов.

Степень армирования проводящих пучков различная. Склеренхимное влагалище над флоэмой развито либо в виде узкой полосы толщиной до 3–4 слоев клеток склеренхимы (у люпина узколистного и люпина многолистного), либо имеет «шапковидные» очертания и включает до 7 слоев клеток склеренхимы (у люпина белого).

Наиболее существенным признаком анатомического строения черешка листа является тип проводящей системы [7; 8]. По типу строения ее можно судить об эволюционной продвинутости растений [2; 4]. По данным Н.А. Анели (цит. по [2]), основным направлением структурной эволюции черешка является дезинтеграция кольца проводящей ткани начиная от сплошного массива вторичной ксилемы, образующей замкнутое кольцо, и кончая полной разобщенностью проводящих пучков. А.Л. Тахтаджян утверждал, что наиболее продвинутым типом проводящей системы черешка следует признать дискретный, где отдельные проводящие пучки окружены в паренхиму, а наиболее примитивным – кольцевую структуру [4]. В этом отношении представители рода *Lupinus* L. исследованы слабо.

У изученных нами видов проводящая система сложена коллатеральными пучками в различных количествах и размерах. Так, у *Lupinus albus* в средней части черешка 5 крупных, 23 пучка среднего размера и 12 мелких пучков, которые расположены в виде сплошного кольца. У *Lupinus polyphyllus* 3 крупных пучка, 18 среднего размера и 12 мелких пучков также образуют сплошное кольцо. У *Lupinus angustifolius* проводящая система черешка включает 7 крупных и 20 мелких, расположенных по кольцу, но оно не сплошное, а проводящие пучки отделены друг от друга участками паренхимной ткани. Среди этих пучков в черешке многие авторы выделяют основные и блуждающие пучки. Основные связаны с проводящей системой стебля, а блуждающие не имеют определенной закономерности следования: они либо сливаются с основными, либо исчезают [2]. У люпина белого и люпина многолистного проводящие пучки соединены ме-



жду собой одревесневшей межпучковой паренхимой, образуя «ложное» кольцо. У люпина узколистного – дискретный тип проводящей системы. Кроме того, существует мнение, что цилиндрические черешки присущи видам более примитивным в эволюционном отношении, а желобчатая форма черешка свойственна эволюционно более продвинутому виду [9].

Различия между изученными видами люпина в строении их черешков свидетельствуют о видовой специфичности и дают основание для заключения о разных уровнях их эволюционной продвинутости. Более совершенным видом на основании признаков строения черешка (желобчатая форма черешка, дискретный тип проводящей системы) является *Lupinus angustifolius*, а два других вида (*Lupinus polyphyllus* и *Lupinus albus*) показывают более примитивные признаки строения черешка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисова, У. Ф. Анатомическое строение черешка листа некоторых видов люпина / У. Ф. Борисова // Ботаника: исследования. – Минск, 1975. – Вып. 17. – С. 192–195.
2. Бавтуто, Г. А. Атлас по анатомии растений : учеб. пособие для вузов / Г. А. Бавтуто, В. М. Еремин, М. П. Жигар. – Минск : Ураджай, 2001. – 146 с.
3. Бавтуто, Г. А. Ботаника. Морфология и анатомия растений / Г. А. Бавтуто, В. М. Еремин. – Минск : Выш. шк., 1997. – 375 с.
4. Тахтаджян, А. Л. Основы эволюционной морфологии покрытосеменных / А. Л. Тахтаджян. – М. ; Л., 1964. – 439 с.
5. Бойко, В. И. Анатомическое строение коры видов семейства Ericaceae D. С. : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05 / В. И. Бойко. – Воронеж, 1996. – 26 с.
6. Матусевич, Н. М. Таксономический анализ древесных представителей семейства Rosaceae по признакам анатомической структуры коры их однолетних стеблей : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 00.03.05 / Н. М. Матусевич. – Минск, 2005. – 21 с.
7. Халимов, И. И. Сравнительно-анатомическое исследование черешка представителей рода *Crambe* (Brassicaceae) в связи с его систематикой и филогенией / И. И. Халимов, В. И. Трифонова // Ботан. журн. – 1992. – Т. 77, № 1. – С. 33–44.
8. Трифонова, В. И. Сравнительно-анатомическое исследование черешка некоторых представителей родов *Eriocapitella* и *Anemone* (секция *Sylvia* и *Anemone*, Ranunculaceae) в связи с их систематикой / В. И. Трифонова, И. Г. Зубкова // Ботан. журн. – 1990. – Т. 75, № 1. – С. 3–16.
9. Лучков, А. И. К морфоанатомической характеристике черешков листьев представителей рода *Asarum* L. / А. И. Лучков, Т. Ф. Дерюгина // Ботаника: исследования. – Минск, 1990. – Вып. 30. – С. 192–196.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 01.09.2015

Matusevich N.M., Zhigar M.P. Features Structure Petioles Certain Lupin

The article presents the anatomical study stalks three species of lupine (Lupinus L.). The results are used to identify the more primitive and evolutionarily advanced species in the genus lupine.



УДК 634 + 582

Н.В. Шкуратова¹, С.В. Зеркаль²

¹канд. биол. наук, доц., доц. каф. ботаники и экологии

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

²канд. биол. наук, доц., доц. каф. ботаники и экологии

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

СИНТАКСИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ДЕНДРО- И БРИОФЛОРЫ МЕМОРИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «БРЕСТСКАЯ КРЕПОСТЬ-ГЕРОЙ»

*В статье рассматриваются результаты изучения видового состава древесно-кустарниковых растений и мохообразных мемориального комплекса «Брестская крепость-герой». В ходе систематизации выявлено 64 вида и формы голосеменных и покрытосеменных растений, среди которых зимнезеленые и листопадные деревья и кустарники из 19 семейств и 41 рода. На территории мемориального комплекса произрастают аборигенные и акклиматизированные, интродуцированные и натурализованные виды, составляющие одну уникальную дендрофлору. Территория сочетает в себе субстраты как традиционные для обитания растений, так и имитирующие своими физико-химическими свойствами карбонатные горные породы. На различных типах субстратов Брестской крепости – почва, кора деревьев, бетонные и цементно-каменные сооружения – выявлено 14 видов мохообразных, относящихся к двум классам: печеночные мхи представлены *Marchantia polymorpha* L., видом широко распространённым по всей территории Беларуси, бриопсиды – 13 видами зелёных мхов из 11 родов и 10 семейств.*

Брестская крепость была заложена в середине XIX в. на месте древнего городища, на островах, образованных реками Западный Буг и Мухавец и искусственными каналами. Мемориальный комплекс «Брестская крепость-герой» представляет огромную культурно-историческую и архитектурную ценность для города и для Республики Беларусь в целом. Каждый гость города над Бугом обязательно находит свободное время, чтобы посетить это уникальное место. Для брестчан Брестская крепость – это не только памятник архитектуры и символ памяти героев, павших в борьбе с фашистскими захватчиками, но и уникальный уголок живой природы [1–3].

Территория мемориального комплекса «Брестская крепость-герой», находящаяся в западной части современного города Бреста, занимает площадь равную более 70 га, из них так называемый газонный участок составляет 57,4 га. Указанная площадь характеризуется большим разнообразием древесных и травянистых растений. Однако на данном территориальном участке ни разу не проводилась научная инвентаризация флоры. С 2007 г. работниками агрослужбы Брестской крепости начат учет проводимых на территории мемориального комплекса санитарных мероприятий по вырубке старых и больных древостоев и посадке молодых деревьев и кустарников. Однако все данные учета растений носят прикладной характер и не представляют собой научной ценности, поэтому возникла потребность таксономического анализа флоры. Кроме того, в настоящее время является актуальным изучение и учет биоразнообразия, в том числе растительных ресурсов, в условиях антропогенной нагрузки. Однако в литературе пока отсутствуют данные как о видовом ассортименте, так и о количественном составе дендрофлоры и бриофлоры Брестской крепости. В связи с этим в настоящее время остро назрела необходимость в проведении учета, систематизации и инвентаризации древесных растений и мохообразных территории мемориального комплекса.

Дендрофлора и бриофлора территории мемориального комплекса «Брестская крепость-герой» в качестве предмета таксономического исследования были избраны не случайно. Во-первых, дендрофлора района мемориального комплекса обладает определенной уникальностью: здесь естественно произрастают представители голосеменных



и покрытосеменных растений, большинство из которых редко встречаются в природе Республики Беларусь [4; 5]. Полное знание дендрофлоры является основой для дальнейших наблюдений за ее состоянием при возрастающем антропогенном воздействии. Кроме того, результаты исследований могут принести существенную пользу при организации туристического маршрута с указанием древесных пород, составляющих единую дендрофлору района мемориального комплекса «Брестская крепость-герой».

Во-вторых, территория Брестской крепости интересна и тем, что сочетает в себе субстраты традиционные для обитания растений (вода, почва, кора деревьев) и нетрадиционные субстраты – бетонные, цементно-каменные сооружения, имитирующие своими физико-химическими свойствами карбонатные горные породы. Именно на таких субстратах на территории крепости зарегистрировано редкое сосудистое растение-кальцефил папоротник *Asplenium ruta-muraria* L. [6; 7]. Мохообразные, занимающие в современной природе ниши непригодные для заселения другими растениями, представляют интерес для исследователей. Мохообразные имеют огромное значение в наземных экосистемах: регуляция водного режима, аккумуляция органического вещества в виде торфа, выделение кислорода в атмосферу и т.д. Вместе с тем мохообразные продолжают оставаться изученными значительно хуже, чем другие группы высших растений. Причина тому – мелкие размеры и тот факт, что среди мохообразных немного видов, используемых в практических целях: среди них нет съедобных и почти нет лекарственных растений, их непросто выращивать в качестве декоративных.

В-третьих, в последние годы стал весьма популярным экологический туризм, и на территории Брестской крепости ведется разработка эколого-туристических пеших маршрутов для широкого круга посетителей, среди которых не исключением будут специалисты: биологи, экологи, учителя биологии, – а также школьники и просто любители природы. Кроме того, в силу уникальности флоры, территория мемориального комплекса могла бы стать прекрасным местом для проведения экологических маршрутов и учебных практик студентов биологов.

В ходе выполненных работ была обследована часть территории мемориального комплекса «Брестская крепость-герой» общей площадью более 30 га. Для изучения декоративной дендрофлоры и бриофлоры Брестской крепости применили метод рекогносцировки местности, широко использующийся ботаниками при анализе флоры определенной местности. При идентификации видового состава древесных пород руководствовались определителями высших растений, видовую принадлежность мохообразных определяли и анализировали руководствуясь определителем «Флора Беларуси. Мохообразные» [5; 8–11].

Обсуждение результатов

Дендрофлора мемориального комплекса «Брестская крепость-герой» уникальна как по видовому составу, так и по таксономической принадлежности. Исследованная площадь характеризуется большим разнообразием представителей отделов голосеменных и покрытосеменных древесных растений. Было описано 2 447 древесно-кустарниковых растений: голосеменных – 616 экземпляров, покрытосеменных – 1 831 экземпляр. В ходе систематизации установлено, что здесь произрастают 64 вида и формы древесных растений: 55 видов и 9 форм; из которых 11 видов и 8 форм являются представителями отдела голосеменные растения, а 44 вида и 1 форма относятся к отделу покрытосеменные растения. Это зимнезеленые и листопадные деревья и кустарники из 19 семейств и 41 рода [5; 8; 9; 12–14] (таблица 1).













На данном участке естественно произрастают как аборигенные, так и акклиматизированные, интродуцированные и натурализованные виды, составляющие одну уникальную дендрофлору. Большинство из этих растений обладают высокой декоративностью и газоустойчивостью и относятся к числу применяемых во многих областях хозяйственной деятельности человека.

На территории мемориального комплекса «Брестская крепость-герой» широко распространены 3 типа субстратов, на которых возможно существование мохообразных, и, соответственно, такие группы мохообразных, как эпифиты, эпигеиды и эпилиты. По субстратам мохообразные Брестской крепости распределяются следующим образом: на почве – 9 видов, на коре живых деревьев – 3 вида, на кирпичных и бетонных сооружениях – 5 видов. Анализ условий произрастания и обобщения литературных данных позволяют утверждать, что большинство видов имеют широкую амплитуду в отношении занимаемых субстратов и только один вид – *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm. – приурочен исключительно к каменистым субстратам. Всего выявлено 14 видов, относящихся к двум классам мохообразных: печёночникам (*Hepaticopsida*) и бриопсидам (*Bryopsida*) и 11 семействам (таблица 2) [10; 11]. Печёночники представлены одним видом, который широко распространён по всей территории Беларуси, – *Marchantia polymorpha* L. Бриопсиды на территории крепости представлены одним подклассом бриевые (зелёные) мхи (*Bryidae*), к которым относятся 13 видов из 11 родов и 10 семейств. Как и в целом во флоре Беларуси, на территории Брестской крепости доминируют зелёные листостебельные мхи.

Заключение

Таким образом, проведенный таксономический анализ элементов флоры района Брестской крепости окажет содействие решению общей проблемы изучения и сохранения биологического разнообразия. Место положения Брестской крепости на территории г. Бреста делает возможным беспрепятственное посещение ее учащимися и студентами, а многообразие растительного и животного мира предоставляет возможность для осуществления здесь учебного процесса в виде учебных экскурсий, экологических троп и т.д. В связи с этим представляется целесообразным использовать в указанных целях материал, полученный в результате проведенного анализа, систематических, морфологических и экологических особенностей древесно-кустарниковых видов и мохообразных Брестской крепости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брест : энцикл. справочник. – Минск : БелЭн, 1987. – 288 с.
2. Нацыянальны Атлас Беларусі / Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь. – Минск : Беларус. Энцикл., 2002. – 292 с.
3. Брестская крепость [Электронный ресурс]. – 2015. – Дата доступа: 27.06.15.
4. Козловская, Н. В. Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны / Н. В. Козловская. – Минск : Наука и техника, 1978. – 128 с.
5. Определитель высших растений Беларуси / под. ред. В. И. Парфенова. – Минск : Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.



6. Рыковский, Г. Ф. Мохообразные, произрастающие на бетонных сооружениях в условиях Западной окраины русской равнины (Белоруссия) / Г. Ф. Рыковский, М. П. Млынарчик, О. М. Масловский // Ботаника (исследования). – Минск, 1988. – Вып. 29. – С. 107–116.
7. Красная книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / редкол. Л. И. Хоружик (пред.) [и др.]. – Минск : Беларус. Энцыкл., 2005. – 456 с.
8. Деревья и кустарники СССР / гл. ред. изд. Б. К. Шишкин. – Т. 1–29. – М. – Л. : Изд. Акад. наук СССР, 1934–1964.
9. Рычин, Ю. В. Древесно-кустарниковая флора. Определитель / Ю. В. Рычин. – М. : Просвещение, 1972. – 264 с.
10. Флора Беларуси. Мохообразные : в 2 т. / под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Тэхналогія, 2004. – Т. 1 : Andreaeopsida – Bryopsida / Г. Ф. Рыковский, О. М. Масловский. – 2004. – 437 с.
11. Флора Беларуси. Мохообразные : 2 т. / под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Беларус. навука, 2004. – Т. 2 : Hepaticopsida – Sphagnopsida / Г. Ф. Рыковский, О. М. Масловский. – 2009. – 213 с.
12. Жизнь растений : в 6 т. / гл. ред. А. А. Фёдоров. – М. : Просвещение, 1978. – Т. 4 : Мхи. Плауны. Хвощи. Папоротники. Голосеменные растения / под ред. И. В. Грушвицкого и С. Г. Жилина. – 447 с.
13. Жизнь растений : в 6 т. / А. А. Фёдоров. – М. : Просвещение, 1980. – Т. 5, ч. 1 : Цветковые растения / под ред. А. Л. Тахтаджяна. – 430 с.
14. Жизнь растений : в 6 т. / гл. ред. А. Л. Тахтаджян. – М. : Просвещение, 1981. – Т. 5, ч. 2 : Цветковые растения / под ред. А. Л. Тахтаджяна. – 512 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 14.07.2015

Shkuratova N.V., Zerkal S.V. Syntactic Structures of Dendroflora and Bryoflora of Memorial Complex «Brest Hero Fortress»

The results of study the species composition of trees and shrubs and mosses of the memorial complex «Brest – Hero Fortress» are represented in this article. During systematization identified 64 species and forms of gymnosperms and angiosperms, including evergreen and deciduous trees and shrubs from 19 families and 41 species. On the territory of the memorial complex grow native and acclimatized, introduced and naturalized species, constituting a unique dendroflora. The area combines the traditional substrates for living plants and substrates mimic physical and chemical properties of carbonate rocks. On different types of substrates Brest Fortress identified 14 species of bryophytes belonging to two classes and 11 families. Hepaticopsida class represented by one species that is widely distributed throughout the territory of Belarus – Marchantia polymorpha L. Bryopsida class in the fortress presented of green mosses (there are 13 species from 11 genera and 10 families).



УДК 551.1/4(476)

М.А. Богдасаров¹, Н.Ф. Гречаник²

¹д-р геол.-минерал. наук, проф., зав. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

²канд. геогр. наук, доц. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ БАСЕЙНА РЕКИ ЯСЕЛЬДА

В статье охарактеризованы особенности тектонического и геологического строения, а также минерагенический потенциал территории, расположенной в пределах водосборного бассейна р. Ясельда.

Ясельда – река в Брестской области Беларуси, левый приток Припяти. Длина – 250 км, площадь водосборного бассейна – 7 790 км².

Тектоническое строение

В пределах территории бассейна реки Ясельда выделяются следующие тектонические структуры: северо-восточная часть Подляско-Брестской впадины, Ивацевичский погребенный выступ Белорусской антеклизы и Полесская седловина. Перечисленные структуры ограничены дизъюнктивными нарушениями в виде разломов, а в некоторых случаях границы структур проводятся условно по глубине залегания пород кристаллического фундамента. Глубина залегания пород кристаллического фундамента в разных частях исследуемой территории различная. Так, в северо-восточной части Подляско-Брестской впадины она составляет от –200 до –500 м, в пределах Ивацевичского погребенного выступа – от –80 до –198 м, на Полесской седловине – от –200 до –300 м.

Ивацевичский погребенный выступ – южная периклиналильная часть Белорусской антеклизы, погружающаяся в сторону Полесской седловины. Расположен на севере Брестской области. Северной границей погребенного выступа является зона сочленения Ляховичского и Свислочского разломов. На востоке ограничен Старобинской центриклиналью Припятского прогиба, на западе – северо-восточной центриклиналью Подляско-Брестской впадины, на юге на расстоянии 50 км переходит в Полесскую седловину. Ширина погребенного выступа в более широкой части около 70 км. Поверхность фундамента полого погружается с севера на юг от –0,1 до –0,3 км, к востоку и западу погружение более крутое. Платформенный чехол сложен среднерифейскими отложениями пинской свиты, волинской серии и отложениями валдайской серии на востоке, перекрытыми меловыми, палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными отложениями. Мощность чехла – 200–400 м. Западный склон выступа заложился на каледонском этапе в связи с прогибанием Подляско-Брестской впадины, восточный и южный склоны – на герцинском этапе в связи с заложением Припятского прогиба и окончательным формированием Белорусской антеклизы [1].

Подляско-Брестская впадина – крупная отрицательная структура Русской плиты, расположенная на территории юго-западной Белоруссии и смежных районов Польши. На севере и северо-западе граничит с Белорусской антеклизой, на юге – с Луковско-Ратновским горстом, на востоке – с Полесской седловиной, на западе открывается в сторону Мазовецко-Люблинского перикратонного прогиба. Под этим наименованием выделена С. Соколовским и Е. Зноско (1958), Г.В. Зиновенко (1968) и обозначена



на Тектонической карте Белоруссии (1976). Восточная часть впадины в пределах Беларуси в работах большинства исследователей обычно называется Брестской впадиной. Впадина простирается с востока на запад примерно на 260 км. Ширина ее изменяется от 70 до 130 км. С севера и юга по поверхности фундамента и нижней части платформенного чехла (включая нижний девон) впадина ограничена разломами субширотного простирания. В пределах впадины структура фундамента и нижней части чехла осложнена разломами северо-восточного простирания. Фундамент погружается к западу от отметок $-0,5$ до $-1,8$ км.

Подляско-Брестская впадина в пределах бассейна реки Ясельда выполнена верхнепротерозойскими (рифейский и вендский комплексы), юрскими, меловыми, палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными образованиями. В осадочном чехле выделены нижнебайкальский (среднерифейский), верхнебайкальский (верхневендский) и киммерийско-альпийский структурные комплексы. Характерная черта разреза верхнебайкальского структурного комплекса – эффузивно-осадочная толща (трапповая формация) мощностью до 350 м. Современная структура впадины возникла в результате суммарного наложения и интерференции разновозрастных прогибов и впадин, простирание и оси наибольшего опускания которых мигрировали в пространстве и времени. Наибольшее прогибание территории впадины происходило в раннем палеозое и силуре, когда она представляла собой небольшой структурный залив каледонского перикратонного прогиба северо-западного простирания. На среднедевонско-раннепермском этапе преобладающая территория данной структуры представляла собой сушу, однако с этим этапом связаны значительные изменения в структурном плане территории впадины. В результате тектонических движений впадина приобрела очертания, близкие к современным, и хорошо выделяется по поверхности фундамента в виде субширотного структурного залива, ограниченного с севера и юга субширотными разломами. В позднепермско-четвертичный период в связи с интенсивным развитием Датско-Польского прогиба в погружение вовлекались западные районы Беларуси (включая впадину), Прибалтики и Волыни. В результате в пределах впадины и соседних тектонических элементов все более древние структурные поверхности были дополнительно наклонены с востока на запад [1].

Свислочский разлом без собственного названия был намечен Б.В. Бондаренко (1965), под своим именем выделен Р.Е. Айзбергом и Р.Г. Гарецким (1974) и Г.В. Зиновенко (1974). Разлом изображен на Тектонической карте Белоруссии (1976). Является одним из звеньев разломов Сарматско-Туранского линеамента. Протягивается в субширотном направлении на расстояние более 140 км и разграничивает Белорусскую антеклизу и Подляско-Брестскую впадину. Прослеживается в фундаменте, верхнепротерозойских и раннепалеозойских отложениях. Вертикальная амплитуда смещения по поверхности фундамента колеблется от нескольких десятков на востоке до 100–150 м на западе. По исследованиям З.А. Горелика и В.И. Пасюкевича, заложение разлома происходило в раннем палеозое, а его наибольшая активизация характерна для силура и раннего девона. Г.В. Зиновенко относит заложение и интенсивное развитие разлома к позднему девону [1].

Ляховичский разлом выделен Р.Е. Айзбергом и Р.Г. Гарецким (1974). Изображен на Тектонической карте Белоруссии (1976). Без названия в несколько ином виде намечен Б.В. Бондаренко (1965), З.А. Гореликом (1968) и др. Является одним из звеньев разломов Сарматско-Туранского линеамента. Протягивается в субширотном направлении на расстояние около 145 км и разграничивает Белорусскую антеклизу и Полесскую



седловину. Разлом прослеживается в фундаменте и верхнепротерозойских отложениях. Вертикальная амплитуда смещения по поверхности фундамента колеблется от первых десятков до 100–150 м. Развитие разлома на платформенном этапе в основном проявилось в позднем девоне [1].

Полесская седловина – крупная структура, отделяющая Белорусскую антеклизу и Украинский щит и одновременно представляющая собой перемышку между Подляско-Брестской впадиной и Припятским прогибом. В качестве области приподнятого положения фундамента между Украинской и Польско-Литовской мульдами намечена как Полесский вал (Е.В. Оппоков, 1916; А.М. Жирмунский, 1919), Скифский вал (Ч. Кужняр, 1922), Полесский мост (Д.Н. Соболев, 1924). Выделена Ж.П. Хотько и Б.В. Бондаренко (1956). Синоним – Пинская седловина (А.С. Махнач, 1958). Под нынешним названием отображена на Международной тектонической карте Европы (1964), Тектонической карте Белоруссии (1976), упоминается в «Геологии СССР» (Т. III, 1971).

Имеет слабо выраженное субмеридиональное простирание. Длина 140 км, ширина 100 км. Фундамент залегает на отметках от –0,3 до –0,5 км. Платформенный чехол представлен рифейскими (полесская серия), вендскими и мезозойско-кайнозойскими отложениями, входящими в состав трех структурных комплексов: нижнебайкальского, верхнебайкальского и киммерийско-альпийского. Нижнебайкальский комплекс отложений сложен мелкозернистыми песчаниками и крупнозернистыми алевролитами с мало-мощными прослоями глин. Мощность отложений комплекса – до 448 м. Верхнебайкальский комплекс включает Волынскую серию венда и лишь на склонах седловины, обращенных в сторону отрицательных структур, появляются в его составе отложения Валдайской серии. Отложения Волынской серии представлены Ратайчицкой свитой, на склонах структуры появляются породы Лиозненской свиты. Мощность образований Волынской серии достигает 230 м. Отложения Валдайской серии представлены алевролитами, аргиллитами, песчаниками с прослоями гравелитов и микалитов. Мощность отложений изменяется от 1 до 66 м, а при переходе в Припятский прогиб достигает 129 м. Киммерийско-альпийский комплекс включает отложения мела, палеогена, неогена и квартера. Мощность отложений комплекса достигает 144 м. Отложения структурного комплекса залегают почти горизонтально [2]. Сочленение седловины на севере с Белорусской антеклизой происходит по Ляховичскому разлому, расположенному на простирании Речицко-Вишанского разлома Припятского прогиба, а на юге – с Украинским щитом по Северо-Ратновскому разлому. Восточный склон, сочленяющийся с центри-клинальными замыканиями Припятского прогиба и Микашевичско-Житковичским выступом, осложнен серией затухающих разломов субширотного простирания. Заложение западного склона связано с началом прогибания Подляско-Брестской впадины на каледонском этапе развития. При этом территория седловины испытывала восходящие тектонические движения, о чем свидетельствует размыв образований венда в ее центральной наиболее приподнятой части. Окончательное формирование седловины произошло в связи с обособлением Белорусской антеклизы и погружением Припятского прогиба на герцинском этапе. Полесскую седловину пересекают зоны глубинных разломов, которые не проявляются в платформенном чехле, – Выжевско-Минского и Стоходско-Могилевского.

Выжевско-Минский разлом впервые был выделен без названия Б.В. Бондаренко в 1968 г., а под нынешним названием – Р.Е. Айзбергом и Р.Г. Гарецким в 1974 г. Разлом имеет протяженность более 600 км в юго-западном направлении Чашники – Минск – Ратно. Является доплатформенным краевым суперрегиональным разломом, разграни-



чивающим в фундаменте Минский досфекофенно-карельский массив и Западно-Белорусскую складчатую систему. Слабо отражается в нижней части платформенного чехла. Оказывает некоторое влияние на распределение современной речной сети [1].

Стоходско-Могилевский разлом выделен Р.Е. Айзбергом и Р.Г. Гарецким в 1974 г. в качестве крупного краевого суперрегионального доплатформенного разлома, не проникающего в платформенный чехол. Этот разлом показан на Тектонической карте Белоруссии (1976). Простирается в северо-восточном направлении через Полесскую седловину, Бобруйский погребенный выступ и другие тектонические структуры. Предположительно проникает в верхнюю мантию [1].

Геологическое строение

Тектоническая неоднородность территории обусловила и различия в геологическом строении пород осадочного чехла. Суммарная мощность пород осадочного чехла варьирует в широких пределах. В северо-восточной части Подляско-Брестской впадины она составляет от 200 до 500 м, в пределах Ивацевичского погребенного выступа – от 150 до 300 м, на Полесской седловине – от 400 до 600 м. Верхняя часть осадочного чехла построена породами меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. В северо-западной части бассейна р. Ясельда в днищах ледниковых ложбин в основании четвертичных отложений залегают породы юрского возраста.

Породы меловой системы подстилают четвертичные отложения на незначительной площади в верхней (д. Смоляница) и нижней части (деревни Велесница, Мерчицы) исследуемого бассейна. В средней части бассейна меловые породы, представленные мергелями и мелами с включениями стяжений кремня, занимают значительные площади: с севера на юг от д. Выгонощи до д. Молотковичи, с запада на восток от д. Спорово до д. Стошаны.

Палеогеновые отложения подстилают четвертичную толщу практически повсеместно. Отложения палеогена в пределах территории формировались в морских условиях и состоят из разнотернистых кварцево-глауконитовых и кварцевых песков, реже представлены алевритами, мергелями, глинами и песчаниками.

Отложения неогенового возраста, представленные кварцевыми песками, алевритами и глинами, накапливались в континентальных условиях. Они подстилают четвертичные отложения в верхней части бассейна.

В строении четвертичных отложений в соответствии со схемой стратиграфического расчленения отложений [3] выделяются предледниковые, ледниковые, межледниковые и современные накопления, формировавшиеся в различных палеогеографических обстановках.

Одним из важнейших маркирующих горизонтов четвертичных отложений Брестского Полесья в целом и бассейна р. Ясельда в частности является своеобразная толща тонких слоистых супесей, глин, алевритов, тонко- и мелкозернистых песков, занимающих промежуточное положение между типично неогеновыми породами и морской древнейшего плейстоценового оледенения. Эти отложения, получившие название **брестских предледниковых**, широко распространены на исследуемой территории бассейна [4]. Толща брестского горизонта включает отложения, накопившиеся в обстановке, близкой как к ледниковой, так и межледниковой. В связи с этим данный горизонт подразделяется на два подгоризонта: **нижний (варяжский)** и **верхний (ружанский)** [5]. Отложения этих подгоризонтов широко распространены в верхней части речного



бассейна, а максимальные их мощности выделены в разрезах скважин у деревень Смолярка, Квасевичи, Верчицы и Бронная Гора.

Наревский горизонт состоит из трех подгоризонтов: нижнего (новогрудского), среднего (корчевского) и нижнего (ясельдинского) [5]. Моренные отложения **новогрудского подгоризонта** на территории ясельдинского бассейна не выделены. Нижненаревские моренные отложения на территории бассейна имеют мозаичное распространение. Выдержанного горизонта она не образует, встречаясь по всей территории лишь в ледниковых ложбинах, экзарационных котловинах и отдельных врезх дочетвертичной поверхности [4]. Моренные аккумуляции сложены серыми, голубовато-серыми, реже темно-серыми массивными супесями и суглинками, которые включают гравий, гальку и единичные небольшие валуны осадочных и кристаллических пород.

Выше наревской морены залегает комплекс, состоящий из водно-ледниковых и перегляциальных отложений. Отложения этого комплекса в общей структуре четвертичных аккумуляций локализованы в виде разноразмерных линз и по особенностям спорово-пыльцевых спектров относятся к корчевскому межледниковью. Отложения **корчевского подгоризонта** в пределах ясельдинского бассейна изучены в разрезах скважин пробуренных у деревень Смолярка и Постолово. Анализ условий залегания органогенных толщ свидетельствует, что отложения корчевского межледниковья выполняют бывшие водораздельные древнеозерные котловины и представляют собой озерно-болотные образования [4].

В стратиграфическом отношении выше корчевского межледникового подгоризонта залегает комплекс ледниковых образований, включающий флювиогляциальные, озерно-ледниковые слои и монолитную морену значительной мощности (до 12 м) и широкое площадное распространение в пределах территории ясельдинского бассейна. Комплекс ледниковых образований, представленных монолитными супесями, реже моренными суглинками с линзами и прослоями разнозернистого песка на территории бассейна, отнесен к накоплениям **ясельдинского ледникового подгоризонта** [4].

Выше ясельдинской морены в разрезе четвертичной толщи ясельдинского бассейна выделяется сложно построенная толща, представленная аллювиальными, хорошо промытыми разнозернистыми песками, озерными аккумуляциями, включающими диатомитовые и гиттиевые прослои и гумусированные супеси. Верхние слои сформированы торфяной массой темно-коричневой, местами черной окраски. Мощность отложений от 3 до 15 м. На основании палинологического изучения материала отложений они соответствуют *беловежскому межледниковому горизонту* [4].

Отложения *березинского ледникового горизонта* широкого распространения в пределах ясельдинского бассейна не имеют. Небольшой площадной массив распространения моренных отложений по керну из буровых скважин выделен между деревнями Соколово, Огородники и Речица. Моренные отложения, представленные разнозернистым светло-серым песком с включением обломков в основном осадочных пород, стратиграфически залегают между отложениями беловежского и александрийского горизонтов. Отложения серой и темно-серой гумусированной супеси, темно-серой, иногда до черной гиттии, светло-желтого озерного диатомита, темно-коричневого до черного торфа и гумусированного песка составляют аккумуляции александрийского межледникового горизонта.

Отложения *припятского горизонта* на территории ясельдинского бассейна перекрывают александрийские межледниковые накопления. По объему накоплений горизонт включает аккумуляции двух подгоризонтов: **нижнего – днепровского** и **верхнего –**



сожского. Оба подгоризонта соответствуют ледниковым отложениям в ранге крупных стадий [5]. Отложения припятского горизонта на территории бассейна являются рельефообразующими, с ними связаны максимальные высотные отметки и контрастное выражение в конечно-моренных формах. Днепровская морена и тесно связанные с ней водно-ледниковые отложения образуют первую от поверхности ледниковую толщу в средней и нижней части ясельдинского бассейна. Мощность днепровской морены составляет от 2,5 до 15 м. Моренные отложения состоят в основном из разнозернистого темно-серого песка, гравия, моренного суглинка, скрепленных глинистым цементом. В искусственных обнажениях хорошо видно, что моренные отложения включают валуны кристаллических пород, а также разноразмерные, порой причудливой формы стяжения кремней. Кроме этого, в днепровской морене имеются отторженцы мела. В верхней части ясельдинского бассейна рельефообразующими породами являются ледниковые и водно-ледниковые отложения сожского подгоризонта мощностью до 10 м. Данные аккумуляции представлены валунными супесями, суглинками, песком, песчано-гравийным и гравийно-галечным материалом, линзовидными включениями глины и отторженцевыми глыбами мела.

Муравинский горизонт включает отложения аллювиального, озерного, озерно-аллювиального, болотного генезиса, сложенных мелко-, средне- и крупнозернистыми песками, супесями, глинами, торфом, лимонитом.

Образования *поозерского горизонта* представлены аллювиальными, озерными, озерно-аллювиальными, лессовидными и болотными отложениями и постепенно переходят к аккумуляциям *судобльського горизонта*, которые завершают разрез четвертичных отложений ясельдинского бассейна.

Гидрогеология

Территория бассейна р. Ясельда согласно схеме гидрогеологического районирования Беларуси находится в пределах Белорусского гидрогеологического массива Брестского артезианского бассейна Полесского гидрогеологического района [2]. В пределах данных гидрогеологических таксонов наблюдаются различные мощности гидрогеологических разрезов, различные условия формирования подземных вод и их химический состав. Вертикальный разрез всей мощности осадочного чехла ясельдинского бассейна в той или иной степени обводнен. В гидрогеологическом разрезе осадочного чехла выделяются водопроницаемые и водоупорные слои, водоносные горизонты и водоносные комплексы.

По условиям локализации и особенностям формирования подземные воды подразделяются на грунтовые и межпластовые, также воды спорадического залегания в песчано-гравийных линзах, подстилаемых слоями глин, в прослоях моренных отложений, включающих глинистую составляющую. Подземные воды соприкасаются и взаимодействуют с различными породами, минералами, органическими остатками, в результате этого их химический и солевой состав довольно разнообразен. По суммарному содержанию растворенных веществ, содержанию солей подземные воды делятся на пресные (до 1,0 г/дм³) и минерализованные (более 1,0 г/дм³).

По глубине локализации подземные воды подразделяются на почвенные, болотные, воды верховодки, грунтовые, пластовые и межпластовые. *Почвенные, болотные воды и верховодка* в общем балансе подземных вод ясельдинского бассейна составляют незначительную часть. Это воды зоны аэрации – поверхностного слоя между атмосферой и подземной гидросферой. Почвенные воды представлены только связанной водой,



а капельножидкая вода бывает в них лишь во время избыточного увлажнения. Все воды зоны аэрации питаются за счет атмосферных осадков, интенсивно испаряются и поглощаются растениями. Почвенные воды влияют на почвообразовательные процессы и рост растений. Болотные воды развиваются на участках постоянного избыточного увлажнения почв. Верховодка обычно приурочена к поверхности неглубокого залегания линз водоупорных или слабопроницаемых пород. Она занимает ограниченные площади и исчезает в засушливое время особенно на высоко приподнятых участках конечно-моренных образований Загородья.

Грунтовые воды залегают на первом от поверхности земли водоупорном горизонте ниже верховодки. Грунтовые воды безнапорные, т.е. имеют свободный уровень, который в зависимости от количества поступающей воды то повышается, то понижается. Источником их питания являются атмосферные осадки, конденсационные водяные пары и в определенной степени речные и озерные воды. В зависимости от стратиграфического положения грунтовые воды бассейна подразделяются на водоносные горизонты современных болотных, озерно-болотных, аллювиальных и озерно-аллювиальных, верхнечетвертичных аллювиальных и среднечетвертичных водно-ледниковых отложений. Литологический состав этих отложений включает в основном песчаные разности и реже представлен гиттией, сапропелями и торфом. Глубина залегания грунтовых вод на пониженных территориях речного бассейна составляет от 0,2 до 1,2 м, а во время половодья они смыкаются с поверхностными водами. На водораздельных пространствах Косовской, Пружанской, Логишинской равнин и на территории Загородья глубина залегания грунтовых вод возрастает до 5–8 и более метров. Грунтовые воды перемещаются с повышенных элементов рельефа названных равнин к пониженным элементам рельефа со скоростью от 0,1 до 0,8 м/сутки. Режим грунтовых вод неустойчив: имеют место значительные колебания их температуры, уровня, химического состава, скорости течения и дебита. Колебания температуры зависят от температуры воздуха по сезонам года, атмосферных осадков и поступающей воды, от глубины залегания вод и термических характеристик горных пород, величины испарения и характера физико-химических процессов в грунтах. Понижение уровня часто сопровождается пересыханием колодцев на водораздельных территориях Загородья.

Химический состав грунтовых вод бассейна определяется составом вмещающих пород, характером почв и составом питающих вод. Грунтовые воды бассейна пресные, по химическому составу гидрокарбонатные кальциево-магниевые. Минерализация невысокая и составляет 0,1–0,3 г/дм³. Грунтовые воды содержат высокие концентрации ионов двух- и трехвалентного железа. Двухвалентное железо (Fe^{2+}) в грунтовых водах бассейна находится в железоорганических соединениях, гидрокарбонатном соединении ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$) и реже в виде сульфатного соединения (FeSO_4). Трехвалентное железо (Fe^{3+}) обладает способностью миграции в коллоидной форме с органическими соединениями, но чаще в условиях бассейна выпадает в осадок. Концентрация железа в грунтовых водах бассейна достигает до 2,5 мг/дм³. Основными типами грунтовых вод бассейна в зависимости от геологических и геоморфологических условий являются воды озерных котловин, современной долины Ясельды и ее притоков, междуречных пространств и склонов (воды моренных, водно-ледниковых и эоловых рельефообразующих отложений).

Ниже грунтовых вод залегают *пластовые воды*. Их залегание определяется геологическим строением и зависит от литологического состава пород, от последовательности чередования водоупорных и водоносных горизонтов и от тектонических структур, определяющих положение пластов в пространстве. Пластовые воды ясельдинского



бассейна залегают в песчаных слоях и линзах наревской, березинской морен и моренных отложениях припятского оледенения днепровского и сожского времени. Мощность водонасыщенных слоев и линз, выполненных разнотернистыми, часто глинистыми песками варьирует от 1,2 до 8 и в редких случаях более метров. Пластовые воды бассейна пресные, по химическому составу гидрокарбонатные кальциево-магниевого. Минерализация не превышает 0,1–0,3 г/дм³. Пластовые воды содержат несколько меньшие концентрации ионов двух- и трехвалентного железа по сравнению с грунтовыми водами. Пластовые воды не образуют сплошного водоносного горизонта и используются как источники водоснабжения шахтными колодцами и водозаборными скважинами в сельских и некоторых частях городских поселений.

Большую часть гидрогеологического разреза ясельдинского бассейна занимают *межпластовые воды*. Они имеют повсеместное распространение, залегаю в нижней части разреза четвертичных отложений, а также в напластованиях неогенового, палеогенового, мелового и образования позднепротерозойского возраста. Они разделены между собой слабопроницаемыми породами. Для них характерен напорный тип режима.

Важнейшими *водоносными комплексами четвертичных отложений*, содержащими напорные подземные воды, являются межморенные днепровско-сожский, березинско-днепровский и наревско-березинский.

Днепровско-сожский комплекс на территории бассейна распространен севернее южной границы припятского ледника сожского времени. Глубина залегания его кровли варьирует от 3 до 29 м. Мощность водовмещающих пород, представленных разнотернистыми кварцево-полевошпатистыми песками с линзовидными включениями супесей и суглинков, составляет 3–30 м. Водообильность и фильтрационные свойства пород различны. Величины напора изменяются от 1 до 35 м, снижаясь к долине Ясельды. Коэффициенты фильтрации водовмещающих пород от 1 до 15 м/сут. Удельные дебиты скважин от 0,1 до 5,5 л/сек.

Березинско-днепровский комплекс распространен на территории бассейна повсеместно. Южнее границы распространения ледника сожского времени он является первым от поверхности напорным комплексом межпластовых вод. Мощность водовмещающих разнотернистых песков, моренных супесей, суглинков и тонких глин изменяется от 4,7 м до 55,2 м в ледниковых ложбинах. Водообильность данного горизонта неравномерная, удельные дебиты скважин от 0,01 до 3,2 л/с, а коэффициенты фильтрации пород колеблются от 0,2 до 18 м/сут [6]. Кровля водоносного горизонта вскрывается на глубинах 15,2–22,5 м. Березинско-днепровский водоносный комплекс по своим гидродинамическим параметрам пригоден для централизованного водоснабжения крупных населенных пунктов.

Наревско-березинский комплекс, представленный водно-ледниковыми, моренными отложениями сложенными песками, валунными супесями, реже суглинками, локализуется в древних погребенных ложбинах и эрозионных котловинах. Мощность отложений от 3,7 до 10 м. Коэффициенты фильтрации пород изменяются от 0,1 до 8,2 м/сут. Дебиты скважин – от 0,2 до 3,5 л/с.

Водоносные комплексы четвертичных отложений гидравлически взаимосвязаны. В формирование эксплуатационных запасов любого межморенного комплекса в процессе его эксплуатации вовлекаются воды практически всей четвертичной толщи, включая грунтовые. Межморенные водоносные комплексы имеют также хорошую гидравлическую связь и с поверхностными водами, в той или иной степени дренируются речной сетью, питание их осуществляется на водоразделах за счет инфильтрации атмо-



сферных осадков, а в долинах рек – за счет разгрузки подземных вод из нижележащих водоносных горизонтов [6].

Водоносный комплекс палеоген-неогеновых отложений в пределах бассейна р. Ясельда распространен повсеместно. Водовмещающие породы приурочены к киевскому, харьковскому, страдубскому и крупейскому горизонтам палеогена, бриневскому, антопольскому и колочинскому надгорizontам неогена. Отложения представлены песчаными разностями, часто переслаивающимися глинами, суглинками и линзовидными, реже пластовыми включениями бурого угля и плотного черного торфа. Водоносный комплекс тесно связан с вышележащим четвертичным комплексом и возле Белоозерска и Березы образует с ним единую водоносную толщу. Глубина залегания кровли комплекса изменяется от 32,2 до 83,4 м. Мощность водонасыщенных отложений – 25–40 м. Комплекс повсеместно напорный. Коэффициент водопроницаемости от 10 до 200 м²/сут. Воды комплекса пресные, а по химическому составу гидрокарбонатные кальциево-магниевого. Минерализация невысокая и составляет 0,2–0,4 г/дм³. Подземные воды палеоген-неогенового комплекса содержат высокие концентрации органического вещества (8–18 мг/л). Источником его являются прослои и линзы бурого угля. Значительная часть кислорода затрачивается на окисление органического вещества. Практически бескислородная, слабовосстановительная обстановка в подземных водах водоносного комплекса является благоприятной для восстановления окисного железа и перехода его в водорастворенное состояние в форме Fe²⁺. Воды комплекса обогащены марганцем [2]. Комплекс используется в качестве эксплуатационного на групповом водозаборе Белоозерска и Березы.

Водовмещающими *отложениями мелового возраста* в пределах исследуемой территории являются трещиноватые и закарстованные мела, мергели и известняки с редкими прослоями глин и песков туронского яруса и мергельно-меловая толща среднего и верхнего подъярусов сеноманского яруса [2]. Мощность водоносного комплекса – 20–30 м. Водопроницаемость составляет 45–400 м²/сут. Воды пресные, минерализация – до 0,4 г/л. Состав гидрокарбонатный кальциевый и магниевый-кальциевый. Воды этого горизонта эксплуатируются водозаборами «Лесной» (г. Белоозерск), «Первомайский» (г. Береза), «Пина-1», «Пина-2» (г. Пинск).

В пределах исследуемой территории *региональным водоупором* являются образования *позднепротерозойского возраста* (пинская свита полесского горизонта среднего рифея и эффузивно-осадочная толща отложений волинской серии венда). Пинская свита сложена мелкозернистыми песчаниками и крупнозернистыми алевролитами с прослоями глинистых алевролитов и глин, иногда с тонкими прослоями разнозернистых песчаников в отдельных прослоях, с большим содержанием мелких плоских окатышей [2]. Минерализация воды в нижней части пинской свиты на глубине 309 м составляет 0,7 г/дм³. В местах, где выше образований пинской свиты залегают эффузивно-осадочные отложения волинской серии венда, минерализация вод резко возрастает. На глубине 258–319 м в районе г. Белоозерск она составляет 2,9 г/дм³ [7]. В районе д. Хомск в настоящее время из верхнепротерозойских отложений с глубины 250–270 м получают минеральную воду гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого состава. Минерализация воды – 1,5–2,0 г/л. Запасы составляют 273 м³/сут.

Полезные ископаемые

Сложная история геологического развития данной территории отразилась на формировании определенных геологических структур и связанных с ними полезных иско-



паемых в кристаллическом фундаменте и осадочном чехле. Полезные ископаемые, приуроченные к породам *кристаллического фундамента*, в пределах территории бассейна р. Ясельда требуют углубленного изучения. К настоящему времени имеются предположения использования пород кристаллического фундамента в качестве сырья для производства минеральных волокон [6]. Для их производства в перспективе можно использовать базальты Волынского-Брестской магматической провинции Волынской трапповой формации венда, локально расположенной непосредственно на территории ясельдинского бассейна [2]. К настоящему времени в хозяйственное использование вовлечены следующие виды полезных ископаемых, приуроченные к породам *осадочного чехла*: пески и песчано-гравийные смеси, отторженцевые месторождения мела, глинистого сырья, торфа и сапропелей.

Пески и песчано-гравийные отложения имеют широкое распространение на территории бассейна р. Ясельда. Пески – осадочная мелкообломочная рыхлая порода, состоящая из зерен кварца, полевых шпатов, слюд, реже карбонатных минералов. В зависимости от размеров зерен песка на территории речного бассейна выделяются крупнозернистые (размер зерен 0,5–1 мм), среднезернистые (0,25–0,5 мм) и мелкозернистые (0,1–0,25 мм). Осадочные обломочные породы с размером частиц 1–10 мм относятся к гравиям, 10–100 мм – к галечнику, а обломки размером более 100 мм – к валунам. Месторождения песков региона стратиграфически связаны с аккумуляциями четвертичного времени, реже – с аккумуляциями палеогенового и неогенового возраста. На территории речного бассейна Ясельды распространены пески водно-ледникового, озерно-аллювиального и эолового генезиса. Песчано-гравийные и песчано-гравийно-галечниковые отложения связаны с конечно-моренными и моренными образованиями. В минеральном составе песков преобладает кварц (75–95%) и полевые шпаты (4–20%). Химический состав песков включает оксиды кварца (55–98,8%), оксида натрия (0,2–7,2%), оксида серы (0,1–0,4%). На участках распространения моренных и конечно-моренных отложений пески часто содержат значительную примесь гравия и гальки, а в некоторых случаях и глины. Мощность пластообразных, гнездообразных и линзообразных залежей песков на месторождениях составляет 1,5–18,5 м, а мощность вскрышных горизонтов пород составляет от 0,25–1,0 м до 3,5–5 м. Крупнейшими месторождениями строительного песка являются Околоты (Березовский р-н). Балансовые запасы по промышленным категориям составляют 22 052 тыс. т [6]. Крупные запасы этого полезного ископаемого находятся в месторождении Юзефин и Березовичи Березовского района.

К естественным строительным материалам и вместе с тем и полезным ископаемым относятся *россыпи валунного камня*. Они широко распространены в пределах территории речного бассейна и приурочены в основном к конечно-моренным грядам Загородья и Логишинской равнины. Валунные залегают на поверхности подстилающих пород или локализованы на глубине от 1,0 до 3,5 м. Естественные скопления валунов занимают в пределах конечно-моренных и моренных поверхностей Загородья площадь до 100 га. Насыщенность валунным камнем 1 га поверхности составляет от 2,5 до 12,0 м³ камня. Состав валунов разнообразен. Среди них доминируют представители магматических пород: граниты, диориты, реже габбро и пегматит. Среди метаморфических пород доминируют гнейсы, мигматиты и редко встречается кварциты. Осадочные породы представлены разномасштабными песчаниками и кремнями. Валунные используются для местных нужд: кладки фундаментов строительных сооружений, мощения дорог, сооружения декоративных стен и заборов. Разработка в промышленных масштабах валунного материала не производится.



Отторженцевые месторождения мела приурочены к верхней части четвертичной толщи. Отторженцы мела локализованы среди супесчаных, песчаных, суглинистых, реже гравийно-песчаных толщ основной морены и конечно-моренных образований сожского возраста. Отторженцевые залежи вытянуты в субширотном направлении от деревень Павловичи, Малеч, Кабаки и далее в меридиональном направлении простираются к деревням Песчанка, Нарutowичи, Кривоблоты. Мощность вскрышных пород колеблется от 1,2 до 10,0 м. Мощность полезного ископаемого от 1,5 до 20,0 м. Продуктивная толща содержит разноразмерные включения кремневых стяжений и конкреций марказита. Мел по составу включает оксиды кремния (0,5–4,6%), оксид алюминия (0,1–1,2%), оксид кальция (47–58%), оксид магния (0,1–0,6%), оксид серы (0,1–0,3%), карбонат кальция (67–97%). Балансовые запасы по промышленной категории составляют 3 877 тыс. т [6]. В настоящее время промышленная разработка не производится.

Глинистое сырье на исследуемой территории имеет широкое распространение. Глины – осадочные горные породы, сложенные различными глинистыми минералами с размером фракций менее 0,01 мм. Главными породообразующими глинистыми минералами являются гидрослюды, каолинит, монтмориллонит и др. Глины месторождений речного бассейна содержат кварц, окислы и гидроокислы железа, кальцит, пирит, а также содержат растительные включения. Крупнейшими месторождениями глинистого сырья в регионе являются Залуги, Велесница, Фурманы и Кротово. Мощность вскрышных пород на этих месторождениях составляет от 1,6 до 5,8 м. Мощность продуктивной толщи составляет от 3,5 до 8,5 м. Балансовые промышленные запасы от 200 до 350 тыс. м³.

Месторождения торфа и торфовививианита. **Торф** – осадочная органогенная горная порода, формирующаяся в результате отмирания и разной степени распада растительных остатков при дефиците свободного кислорода. Торфяные залежи формируются в пределах заболоченных территорий. Заболоченность ясельдинского бассейна различна в его разных частях. В верхней и левобережной части бассейна заторфованность составляет около 40%, а в правобережной части в пределах Загородья этот показатель составляет 15–20%. Крупнейшими месторождениями в пределах речного бассейна являются Стубло-Заславльское и Выгонощанское. Мощность торфяной залежи составляет от 1,5 до 8,5 м. Торфяные залежи содержат вивианит. **Вивианит** – фосфорнокислая соль закисного железа – широко распространена в торфяниках речного бассейна. В торфяной массе вивианит рассеян в виде отдельных разноразмерных комков, гнезд и линзообразных тел. В неокисленном виде имеет светло-серую до белесой окраску, а в окисленном виде – ярко-синий цвет. Торфовививианиты являются ценным комплексным фосфорно-органическим удобрением и в будущем, возможно, будут использоваться в сельском хозяйстве.

Сапропель – органический ил на дне озер и заторфованных озерных котловин, содержащий не менее 15% органических веществ. В формировании сапропелей основную роль играют растворенное органическое вещество – детрит, минеральные соединения и микроорганизмы. Органическая составляющая включает фитопланктон (диатомовые и сине-зеленые водоросли), микрорастительные остатки, споры и пыльцу растений и обломки раковин моллюсков. Неорганическая составляющая включает песчаные, алевроитовые и глинистые частицы, а также соли железа, кальция, фосфора. Мощность сапропеля в разных озерных водоемах и заторфованных озерных котловинах речного бассейна варьирует в широких пределах: от 0,7 до 12,0 м. Крупные ресурсы сапропеля находятся в Выгонощанском озере (35 млн м³) и Бобровицком озере (24 млн м³).



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тектоническая терминология Белоруссии и Прибалтики / редкол.: Р. Г. Гарецкий (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Наука и техника. – 1978. – 270 с.
2. Геология Беларуси / под ред. А. С. Махнач, Р. Г. Гарецкого, А. В. Матвеева. – Минск : ИГН НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
3. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / С. А. Кручек [и др.]. – Минск : БелНИГРИ, 2010. – 282 с.
4. Березовский страторайон плейстоцена Белоруссии / Ф. Ю. Величkevич [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1993. – 131 с.
5. Стратиграфическая схема четвертичных отложений Беларуси / А. Ф. Санько [и др.] // Літасфера. – 2005. – № 1 (22). – С. 146–157.
6. Полезные ископаемые Беларуси : к 75-летию БелНИГРИ / редкол.: П. З. Хомич [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.
7. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. центр БГУ, 2002. – 440 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 15.10.2015

Bogdasarov M.A., Grechanic N.F. Geological Structure and Mineral Resources of the Basin of the River Yaselda

The article describes peculiarities of tectonic and geological structure and mineragenic potential of the territory located within the watershed of the Yaselda river.



УДК 311.3

Д.В. Никитюк

канд. геогр. наук, зав. каф. туризма и страноведения
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БРЕСТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ТУРИСТСКОГО КЛАСТЕРА

В статье предложен кластерный подход к выделению территориальных структур, образованных на основании агломерирования предприятий сферы туристского обслуживания. В качестве исходной принята концепция «регионального кластера» М. Энрайта. Предложен методический подход с позиции экономической географии.

Введение

Туризм и рекреация представляют собой неотъемлемый элемент социально-экономического развития регионов. В настоящее время туризм и рекреация не только обеспечивают восстановление психофизических сил населения и содействуют повышению межкультурных коммуникаций, но и являются самостоятельной отраслью экономики, обеспечивающей развитие как центров, так и периферийных зон регионов. Туризм и рекреация выступают в качестве крупнейшего землепользователя, который использует наиболее ценные с экологической и экономической точек зрения земельные ресурсы (природные и культурные ландшафты). Кроме земельных ресурсов, важную роль играют такие факторы производства туристских услуг, как трудовые ресурсы, капитал региона, инвестиции, инновации, а также характер расположения к основным межрегиональным и международным центрам спроса. Вся совокупность факторов производства регионального туристского продукта отражается в его конкурентоспособности. Для создания или повышения конкурентоспособности регионального туристского продукта необходима эффективная форма территориальной организации предприятий индустрии и инфраструктуры туризма. На территории Республики Беларусь в советский этап развития пространственная организация предприятий туристско-рекреационного комплекса рассматривается как результат формирования территориальной рекреационной системы (ТРС). Наиболее важные научные работы, посвященные территориальной организации туризма и рекреации в советский и постсоветский периоды, принадлежат И.И. Пирожнику [1; 2]. ТРС Беларуси имела территориальное воплощение, отраженное в туристско-рекреационном районировании. В настоящее время в Беларуси выделено 18 туристско-рекреационных районов [1; 3] (туристских регионов), в которых наблюдаются внутренние процессы территориальной дифференциации туристского продукта, что обусловлено появлением внутрирайонных дестинаций. Территориальная дифференциация приводит к появлению внутренней конкурентной среды и усилению конкурентных позиций отдельных предприятий и их агломераций на региональном и международном рынке туристских услуг. В настоящее время географические агломерации предприятий туризма и рекреации являются источником конкурентного преимущества региона благодаря экономии от масштаба производства [4; 5]. По М. Портеру, к источникам конкурентных преимуществ регионов относятся: «родственные и поддерживающие отрасли», «условия для факторов», «контекст стратегии и соперничества», «условия местного спроса» [6]. Конкурентное преимущество «родственные и поддерживающие отрасли» при определенных условиях М. Портер рассматривает как кластер [7]. В качестве условий выступают географическая общность расположения и взаимосвязь



предприятий на основании взаимодействия. Несколько иначе термин «кластер» трактует М. Энрайт, акцентируя внимание на пространственном процессе агломерации и конкуренции предприятий. В концепции «регионального кластера» М. Энрайта «кластер – это географическая агломерация фирм, работающих в одной или нескольких родственных отраслях хозяйства» [8]. «Региональный кластер» М. Энрайта отличается от «кластера» М. Портера тем, что последний сформирован на основании вертикальной связи (кластер – это географическая близко расположенная группа фирм, объединенная внутри одного производственного процесса: поставки, производство и сбыт). У М. Энрайта сущность кластера иная, более типичная для туристского региона: множество однотипных либо тождественных предприятий малого и среднего бизнеса, конкурирующих между собой за факторы производства и рынки сбыта, но имеющие общую цель – усиление привлекательности региона или отдельной дестинации. В ситуации, когда в пределах одного туристского региона находится несколько дестинаций, система взаимоотношений между предприятиями усложняется конкуренцией между дестинациями. «Усиление привлекательности региона» достигается путем реализации совместных событийных, инфраструктурных, инвестиционных и прочих проектов. Подходы Портера и Энрайта не исключают друг друга, а лишь позволяет комплексно оценивать и реализовывать преимущества туристских регионов. В данной работе рассмотрим формирование туристского регионального кластера (по М. Энрайту) в Брестском туристском регионе.

Источники конкурентных преимуществ региона, выделенные М. Портером, имеют территориальное преломление и выражены в факторах размещения, территориальной конкуренции, территориальной организации предприятий туристско-рекреационного комплекса (кластер) и их потребительских рынков. Следовательно, кластер как источник региональной конкурентоспособности является производным элементом территориальной организации общества. Региональный туристский кластер представляет собой форму связи (соперничество и /или сотрудничество) множества предприятий малого и среднего бизнеса, производящих однотипную продукцию (услуги), сконцентрированных вокруг одного потребительского, научного, промышленного центра в ограниченном региональными границами пространстве. Региональный туристский кластер формируется в центрo-периферической системе региона как результат процесса поляризации его экономического пространства, но при этом образует генетические связи с большим городом (количество населения более 100 тыс. человек). Большой города выступает в качестве центра спроса, территориального управления, подготовки кадров и распространения инноваций.

Методика исследования

Выделение регионального кластера как новой формы территориальной организации туризма и рекреации наиболее обосновано производить на основании результатов анализа статистических данных (рисунок 1).

На первом этапе задачей является определение состояния и тенденций развития, а именно роста в сфере туризма и рекреации региона. Для этого необходим анализ туристской отрасли региона, для которого используются показатели экспорта и импорта туристских услуг, количества посещений, структура занятости населения и объема финансовых средств от туризма, поступивших в регион и их территориальная дифференциация. Для установления рекреационной избирательности местных жителей было проведено социологическое обследование.



Методика выделения туристских кластеров базируется на методологии социально-экономической географии и включает в себя задачи, представленные на рисунке 1. Для определения размеров наиболее интенсивных контактов в пределах рыночной зоны большого города используем показатель интенсивности торговых потоков (гравитационная модель В. Рейли [10]).

ЗАДАЧА	ПОКАЗАТЕЛИ
Определение рыночной локализации предприятий туризма и рекреации	<u>Коэффициент локализации</u> $C_y = \frac{Y_o}{Y_p},$ где Y_o – удельный вес региона в стране по данной отрасли; Y_p – удельный вес региона в стране по всей отрасли. <u>Коэффициент душевого производства</u> $L = \frac{\frac{1}{2} \sum_j^n x_j - y_j }{100},$ где x_j – доля j-го региона в общем объеме факторного признака; y_j – доля j-го региона в общем объеме результирующего явления; n – число j-х регионов. <u>Коэффициент специализации</u> $\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_j^m (D_j - \bar{D}) \times S_j}{\sum_j^m S_j}},$ где D_j – товарооборот на душу населения j-го региона; $\bar{D}$ – средний товарооборот на душу населения по всем регионам; S_j – численность населения j-го региона; m – число j-х регионов.
Выявление уровня монополизации рынка туристских услуг и агломерационных процессов в местах отдыха	<u>Агломерационный индекс Эллисона – Глейзера</u> $HGI_k = \frac{G_{EGk} - HHI}{1 - HHI}$ <u>Индекс пространственной концентрации региона</u> $G_{EGk} = \frac{\sum_i (s_{ki} \cdot s_i)^2}{1 - s_i^2},$ где k – вид экономической деятельности; i – географические районы региона; s_{ki} – доля вида экономической деятельности k географического района i в общей занятости в виде экономической деятельности k в районе; s_i – доля географического района i в совокупной занятости в регионе. <u>Индекс Харфиндала – Хиришмана</u> $HHI = \sum_{k=1}^{F_k} z_{fk}^2,$ где f_k – предприятие f, относящееся к виду экономической деятельности k; z_{fk} – доля занятости предприятия f в виде экономической деятельности K в регионе.

Рисунок 1. – Методика определения географической локализации и выявления уровня монополизации и агломерации в местах отдыха (сост. по [9])



Анализ сферы туризма и рекреации в Брестском регионе

Брестский туристский регион – это юго-западная часть Беларуси, которая отличается богатыми природными и культурными туристскими ресурсами. Включает в себя 8 административных районов, на территории которых проживает 704 тыс. человек. Экономические показатели состояния туризма в Брестском регионе в 2013 г. отличаются положительной динамикой. Так, экспорт туристских услуг составил 18,4 млн долл. США при запланированном значении 15 млн долл. США. По сравнению с 2010 г. показатель вырос в 1,6 раза. Темп роста экспорта туристских услуг составил 141,9% при плане 111,5%. Удельный вес экспорта этого вида услуг в общем объеме экспорта внешней торговли услугами Брестского региона за два года вырос в 1,4 раза до 6,8%. В течение ряда последних лет наблюдается устойчивая тенденция роста основных экономических показателей, характеризующих развитие въездного туризма.

Необходимо отметить тенденции, наблюдающиеся за последние пять лет (2008–2013 гг.), которые связаны с увеличением объема экспорта туристских услуг в 5,3 раза (с 3,5 млн долл. США до 18,4 млн долл. США) и положительным сальдо, которое увеличилось в 9,3 раза (с 1,5 млн долл. США до 14,0 млн долл. США). По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, количество иностранных граждан, посетивших Брестский регион за период 2008–2013 гг., значительно превышало показатели других регионов, что является подтверждением роли и места региона в развитии международного туризма Беларуси. Общее число прибывших иностранных посетителей в Брестский регион за последние 5 лет (2008–2013 гг.) возросло в 3 раза: с 55,9 тыс. чел. до 167,1 тыс. чел. Количество иностранных посетителей за тот же период на основных объектах туристского показа возросло в 2,6 раза: с 23 тыс. чел. до 60 тыс. чел. Положительный тренд увеличения количества иностранных туристов включает в себе повышение конкурентоспособности регионального туристского продукта на международном рынке. Однако стоит отметить снижение численности организованных туристов, посетивших регион в 2013 г. на более чем 18% по отношению к 2011 г. В то же время положительным фактом является увеличение в 1,6 раза количества посещений иностранными гражданами. По служебным, туристским и частным поездкам в 2012 г. Брестский регион посетили 178 060 человек [11].

Территории с конкурентными преимуществами образуют конусы спроса и предложения на туристский продукт. В качестве элемента, отражающего локализацию туристских предприятий, на графике выступает «кривая предложения», которая в случае формирования рыночного пространства реализации туристских услуг раскрывает территориальную структуру туристско-рекреационных предприятий.

Рассмотрим особенности распределения предприятий по стоимости пребывания в пределах выделенных направлений поездок (транспортных сегментов) (рисунок 2). В состав стоимости пребывания включено размещение в двухместном номере с базовым количеством услуг в течение суток. На кобринском, домачевском и камянецком направлениях наблюдается концентрация предприятий и рост стоимости пребывания. Это подтверждает существование на данных направлениях территорий со сложившейся туристской специализацией, которые являются центрами притяжения для предприятий рекреационной сферы: камянецкое направление (дестинация – национальный парк «Беловежская пушча»); домачевское направление (дестинация – курорт местного значения «Озеро Белое»); кобринское направление (дестинация – зона отдыха «Сосновый бор»).

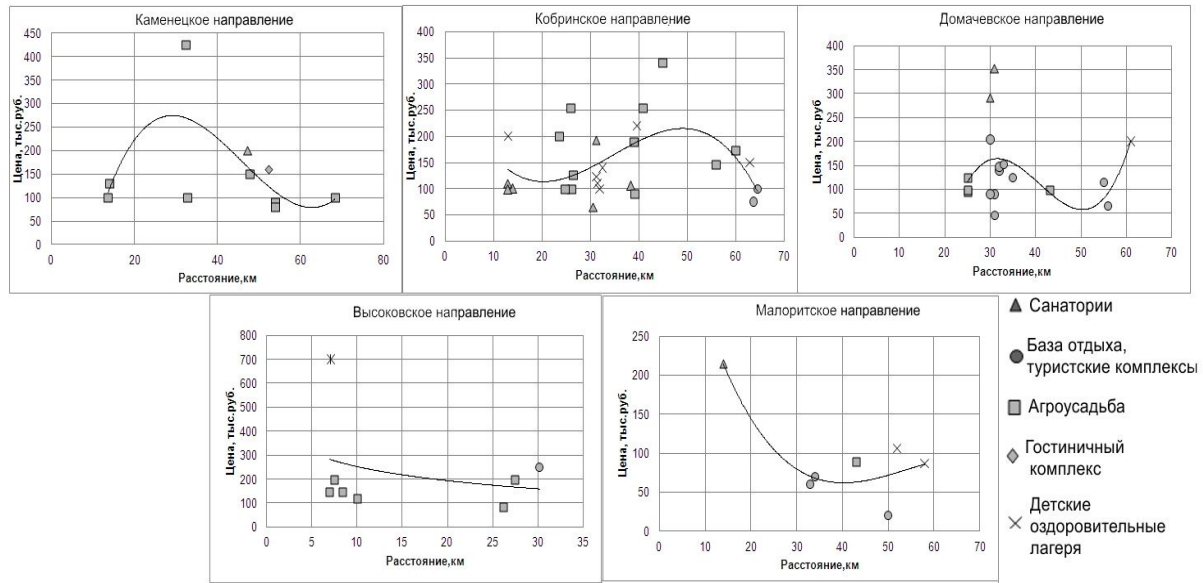


Рисунок 2. – Стоимость пребывания в предприятиях туризма и отдыха по направлению поездок (август 2012 г.)

В зоне кратковременного отдыха (до 40 км) наблюдается концентрация предприятий с ростом стоимости пребывания вокруг г. Бреста (ориентация на городскую инфраструктуру, на спрос жителей города и на город как транспортный узел приема межрегиональных и международных туристских потоков). Из анализа графиков высококовского и малоритского направлений поездок можно установить точечный и очаговый характер распространения предприятий индустрии туризма, который свидетельствует о стадии зарождения конкуренции.

В зоне уик-энд отдыха и отпускного отдыха (малоритское и высококовское направления) наблюдается закономерный спад стоимости пребывания, который обусловлен отсутствием туристских дестинаций (центров концентрации туристского предложения). При рассмотрении графиков представляется возможным сделать вывод об образовании «конусов предложения» – графического отображения зависимости количества туристско-рекреационных предприятий от стоимости пребывания и расстояния до центрального места. Конус предложения является отражением концентрации туристских услуг. В качестве центров конусов выступают: пригородные зоны Бреста, Кобрин и Каменца, курорт местного значения «Озеро Белое», зоны отдыха «Сосновый бор», а также национальный парк «Беловежская пуща».

Важную роль в Брестском регионе играет внутренний туризм. По итогам 2013 г. объем доходов от внутреннего туризма вырос по сравнению с 2010 г. в 36,4 раза и составил 47,3 млрд бел. руб. Следует отметить отсутствие сведений о месте и роли неорганизованных самостоятельных поездок местного населения в регионе. Данный туристский поток является скрытым, так как не учтен в официальной статистике. Ввиду сложившейся ситуации возникает необходимость дополнительного исследования туристской избирательности мест отдыха населением региона.

В качестве типа исследования было выбрано анкетное обследование, целью которого являлось определение пространственно-функциональных особенностей и закономерностей рекреационной избирательности жителей г. Бреста. В анкетном обследовании принимали участие 300 человек. В качестве респондентов выступали мужчины



(72%) и женщины (28%) с высшим (38%) и средним специальным образованием (62%), состоящие в браке (90%) и имеющие детей до 18 лет (71%). По возрасту респонденты распределились так: 18–24 года – 14%; 25–34 года – 53%; 35–44 года – 8%; 45–54 года – 25%. Таким образом, в качестве респондентов выступали преимущественно активные, финансово независимые жители г. Бреста.

В статистической модели рекреационной избирательности краткосрочного отдыха как в летний, так и в зимний сезоны большинство населения предпочитает отдых в городской черте. Особенно четко это выражено в зимний период (таблица 1).

Таблица 1. – Структура рекреационной избирательности мест отдыха жителями г. Бреста, %

Места отдыха	Краткосрочный		Отпуск
	Летнее время	Зимнее время	
Отдых в черте города	33	69	26
За городом в природном ландшафте (неорганизованный отдых)	22	10	16
Дачный поселок, либо садовое товарищество	19	14	18
Агроэкоусадьба (организованный отдых)	1	1	16
База отдыха, санаторий и т.п. (организованный отдых)	5	6	1
У родственников в сельской местности	20	–	11
За границей	–	–	12

Общей закономерностью рекреационной избирательности жителей г. Бреста является преобладание неорганизованных форм отдыха, с преобладанием рекреационных занятий в черте города. Это свидетельствует о невысоком уровне рекреационного освоения пригородного пространства местным населением. Однако стоит отметить, что в летний период неорганизованный отдых в естественных ландшафтах (за городом в природном ландшафте) предпочитают 22% респондентов. Этот факт можно рассматривать в качестве потенциала увеличения туристского предложения для данного сегмента спроса.

Наиболее востребованные среди респондентов места отдыха удалены от г. Бреста более чем на 30 км. На таком расстоянии от города предпочитают отдых 35% респондентов. При этом стоит отметить, что 27% не выезжают за пределы города во время краткосрочного отдыха, а 17% из них отдыхают на пляжах г. Бреста.

В пригородной зоне Бреста наиболее предпочтительным является отдых на берегах озер Белое и Рогознянское (26%), р. Лесная (17%); Меднянских озер (14%); оз. Каташи (8%); р. Мухавец (4%). Не привлекает отдых в Брестском регионе 14% опрошенных. На основании ответов респондентов можно заключить, что наиболее востребованными являются места отдыха с относительно высокой степенью туристского освоения и значительной удаленности от урбанизированной территории, что включает в себе стремление к смене среды во время отдыха при сохранении комфортных условий пребывания.

Показатели рыночной локализации предприятий туризма и рекреации в административно-территориальных районах Брестской области представлены в таблице 2.



Таблица 2. – Рыночная локализация предприятий туризма и отдыха

Брестский регион по районам	Количество предприя- тий туризма и отдыха, ед.		Число работников, чел.		Размещено, тыс. чел.		Коэффициент туристских услуг		
							Локализа- ции произ- водства	Душевое произ- водство	Специа- лизация
	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2013		
Всего	28	38	1202	1 585	75,4	109,5	1,02	1,27	1,02
г. Брест	3	4	56	75	6,7	13,7	0,08	0,169	0,08
Брестский	10	14	344	482	28,5	25,5	9,7	8,79	11,0
Березовский	2	3	41	61	1,8	2,2	0,38	0,27	0,40
Дрогичинский	1	1	10	12	0,17	0,3	0,48	0,44	0,16
Жабинковский	4	5	294	368	18,0	17,9	11,04	7,5	11,3
Каменецкий	1	1	136	136	2,3	4,7	3,5	1,97	3,50
Кобринский	3	6	118	235	9,9	10,1	2,07	1,52	2,04
Малоритский	2	2	11	14	0,9	5,0	0,39	0,18	0,15
Пружанский	2	2	192	202	7,0	9,5	2,9	1,8	2,90

На основании анализа показателей рыночной локализации к районам, имеющим выраженные туристско-рекреационные функции, относятся г. Брест с Брестским, Жабинковским, Каменецким, Кобринским и Пружанским районами. В пределах Брестского региона населенные пункты связаны наиболее интенсивным торговым потоком (F_{am}): Брест – Кобрин (5,08), Брест – Жабинка (3,1), Брест – Каменец (2,3), Брест – Высокое (1,1), Брест – Малорита (0,9). Следовательно, территории, ограниченные транспортной связью «Высокое – Каменец – Кобрин – Малорита – Домачево», являются рыночной зоной Брестского туристского региона. Размещение туристско-рекреационных предприятий в пределах рыночных зон обусловлено конкуренцией на основании местоположения. В связи с этим целью бизнеса является получение конкурентного преимущества за счет расположения в местах с концентрацией рекреационных ресурсов, инфраструктуры, в зоне потребительской активности и инновационного потока.

Анализ показателей, отражающих функциональное состояние туристских дестинаций, позволил заключить:

1. Предприятия туристских дестинаций ориентированы на реализацию оздоровительно-рекреационных (дестинация «Озеро Белое»), лечебно-оздоровительных (дестинация «Сосновый бор») и туристско-познавательных (дестинация «Беловежская пушча») потребностей посетителей. Коэффициент специализации в кластерах составляет от 4 до 6, коэффициент душевого производства – от 0,5 до 0,9.

2. Анализ расчетных индексов Харфиндаля – Хиршмана позволяет отнести рынок туристско-рекреационных услуг Брестского региона к низко концентрированному типу ($HHI < 0,1$). Это свидетельствует об отсутствии процессов монополизации и о потенциале развития туристско-рекреационных кластеров путем интенсификации конкурентно-партнерских отношений между субъектами кластеров.

3. Интегральный индекс Эллисона – Глейзера свидетельствует о сложившейся агломерации в дестинациях: «Озеро Белое» (1,98) и «Сосновый бор» (1,77) (минимально необходимое значение индекса – 1,5 [12]).

Таким образом, концентрация локальных туристских дестинаций в пределах рыночных зон большого города является *региональным туристским кластером*. Пространственная конфигурация туристских дестинаций является результатом агломериро-



вания, конкуренции, кооперации и дифференциации туристских продуктов и образует территориальную структуру Брестского регионального туристского кластера. Региональный туристский кластер, как и отраслевая агломерация, обладает поясно-секторной планировочной структурой (рисунок 4). Формирование поясно-секторной структуры Брестского регионального туристского кластера в настоящее время не завершено. Незавершенным является формирование дестинаций в поясе непосредственного влияния г. Бреста в каменецком и домачевском секторах. В каменецком секторе формирование туристской дестинации наиболее вероятно будет связано с появлением ареала туристского освоения (очага) в зоне активного влияния г. Каменца. В поясе опосредованного влияния г. Бреста недостающими элементами планировочной структуры являются дестинации в высококовском и малоритском секторах, который обусловлен стремлением пропорционального размещения, выражающегося в равномерном расположении предприятий по территории региона для удовлетворения потребностей наибольшего количества населения.

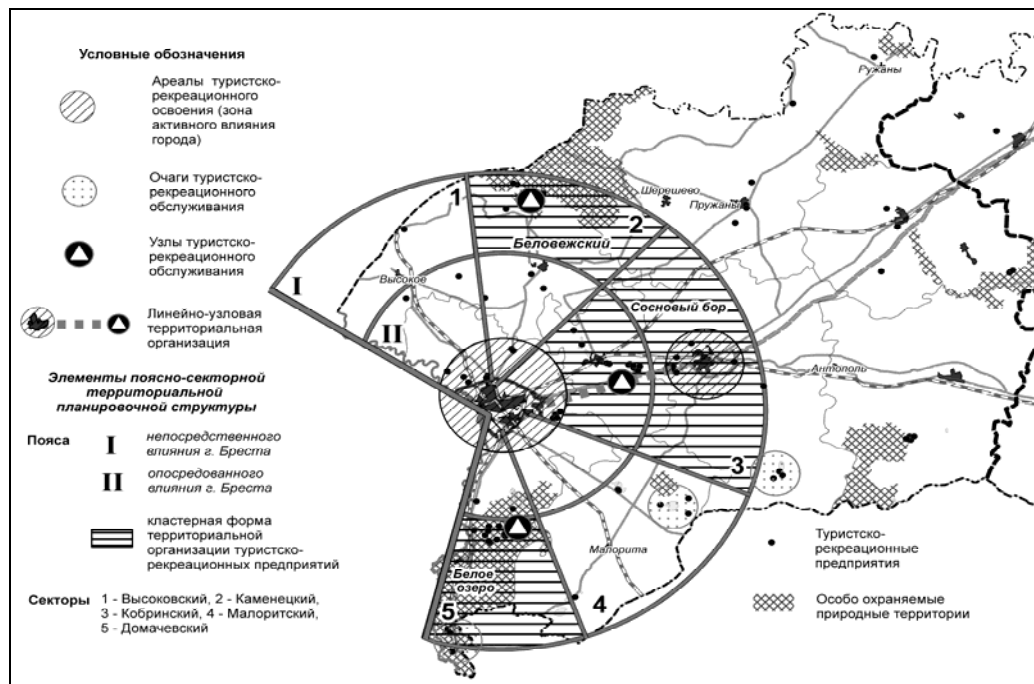


Рисунок 4. – Поясно-секторная планировочная структура Брестского регионального туристского кластера

Таким образом, для выделения регионального кластера первичными индикаторами являются форма территориальной организации предприятий туризма и рекреации, наличие агломерационных процессов и конкурентный характер отношений предприятий в местах их концентрации. При этом региональный кластер не может формироваться вне зоны влияния города как центра диффузии инноваций, формирования туристского спроса, подготовки кадров и управления. Для появления локального туристско-рекреационного кластера необходимо множество туристских дестинаций. Совокупность туристских дестинаций, сформированных вокруг крупного города, образует ареально-сетевой тип территориальной структуры и обуславливает появление регионального туристского кластера.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пирожник, И. И. Основы географии туризма и экскурсионного обслуживания : учеб. пособие для геогр. спец. вузов / И. И. Пирожник. – Минск : Университетское, 1985. – 253 с.
2. Пирожник, И. И. Структурно-функциональные особенности рекреационно-туристского пространства и формирование туристского продукта Беларуси / И. И. Пирожник // Туризм и региональное развитие : сб. науч. ст. – Смоленск : Универсум, 2008. – Вып. 5. – С. 124–136.
3. Туристская энциклопедия Беларуси / редкол.: Г. П. Пашков [и др.] ; под общ. ред. И. И. Пирожника. – Минск : Беларус. Энцыкл., 2007. – 648 с.
4. Krugman, P. Geography and Trade / P. Krugman. – Cambridge MA London : MIT Press. – 1991. – 142 p.
5. Lindqvist, G. Disentangling Clusters. Agglomeration and Proximity Effects [Электронный ресурс] / G. Lindqvist. – Elanders: V'llingb, 2009. – Режим доступа: <http://www.clusterobservatory.eu/library/100193.pdf>. – Дата доступа: 21.06.2012.
6. Porter, M. San Diego: Clusters of Innovation Initiative [Электронный ресурс] / M. Porter. – Cambridge, MA : Monitor Group. – 2003. – Режим доступа: http://www.isc.hbs.edu/pdf/COI_sandiego.pdf. – Дата доступа: 13.04.2014.
7. Портер, М. Конкурентоспособность на распутье: направления развития российской экономики: отчет / М. Портер, К. Кетелс. – М. : Вильямс, 2006. – 114 с.
8. Enright, M. J. Regional clusters and Economic Development: A research agenda / M. J. Enright // Business Networks: Prospects for Regional Development ; edited by U. H. Staber [et al.]. – Berlin : Walter de Gruyter, 1996. – P. 190–213.
9. Миролюбова, Т. В. Идентификация региональных кластеров: комплексный подход (на примере Пермского края) [Электронный ресурс] / Т. В. Миролюбова. – 2012. – Режим доступа: <http://tcipoint.aspu.ru/images/File/Tatiana%20Mirolyubova.pdf>. – Дата доступа: 15.07.2012.
10. Reilly, J. W. Law of retail gravitation / J. W. Reilly. – Knickerbocker Press : New York, – 1931.
11. Туризм и туристические ресурсы в Республике Беларусь, 2013 : сб. ст. / М-во статистики и анализа Респ. Беларусь ; редкол.: Е. И. Кухаревич [и др.]. – Минск : УП Минстата Респ. Беларусь «Главный вычислительный центр», 2014. – 131 с.
12. Никитюк, Д. В. Идентификация туристских кластеров (на примере Брестской области) / Д. В. Никитюк // Земля Беларуси. Секция рекреационная география. – Минск, 2012. – Ч. 1, № 4. – С. 40–43.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 01.10.2015

Nikityuk D.V. Features of Formation of the Brest Regional Tourism Cluster

This article proposes the cluster approach to the allocation of the structures formed on the basis of the agglomeration of enterprises of tourist services. As the source has adopted the concept of «regional cluster» by M. Enright.



УДК 556.(476)

А.А. Волчек¹, Л.В. Образцов², С.И. Парфомук³

¹д-р геогр. наук, проф., декан факультета инженерных систем и экологии
Брестского государственного технического университета

²канд. тех. наук, доц., доц. каф. экономики и организации строительства
Брестского государственного технического университета

³канд. тех. наук, доц., зав. каф. информатики и прикладной математики
Брестского государственного технического университета

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БЕЛАРУСИ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

В работе приведена уточненная количественная оценка поверхностных водных ресурсов Республики Беларусь с учетом современных климатических колебаний и антропогенных воздействий и построена карта среднего многолетнего стока годового модуля стока рек. В целом водные ресурсы практически не изменились, но произошло их перераспределение по территории. На основании тенденций в колебаниях основных климатических параметров с использованием метода гидролого-климатических расчетов, получены прогнозные оценки возможных изменений водных ресурсов в будущем.

Введение

Водным ресурсам присуща динамика, а их комплексное и рациональное использование невозможно без прогноза колебаний и изменений во времени. Характер колебаний водных ресурсов определяется климатическими факторами, но, начиная со второй половины XX в., роль антропогенной составляющей в ряде случаев становится соизмеримой с природными воздействиями. Таким образом, можно констатировать, что конец XX – начало XXI вв. характеризуется направленной климатической изменчивостью и повышением антропогенной нагрузки на сток рек, особенно малых. Это не могло не сказаться на факторах формирования стока малых рек, их гидрологическом режиме и гидроэкологическом состоянии. Кроме того, воздействия антропогенных факторов на водный режим рек имеют как разнонаправленный характер, что взаимно компенсируется их влияние, так и однонаправленный, что, в свою очередь, усиливает трансформацию водного режима.

Общее количество рек, протекающих по территории Беларуси, составляет около 20,8 тыс. Около 45% рек относится к бассейну Балтийского моря; это реки водосборов Зап. Двины, Немана и Зап. Буга. Остальные 55% приходятся на реки бассейна Черного моря, к которому относятся водосборы Днестра, Припяти, Березины и Сожа.

Основные гидрологические характеристики речного стока не являются стабильными величинами. Под влиянием и при участии комплекса разнообразных по генезису и динамике факторов они непрерывно изменяются как по территории, так и во времени. В настоящее время на территории Беларуси гидрологический режим водных объектов определяется не только естественными колебаниями метеорологических элементов, но и антропогенными факторами. При этом роль последних с каждым годом усиливается, несмотря на некоторый экономический спад в стране, недоучет их может привести к значительным ошибкам при определении расчетных параметров.

Целью настоящего исследования является современная количественная оценка поверхностных водных ресурсов Республики Беларусь и прогнозная оценка их изменений в будущем.



Исходные данные и методика исследований

В качестве исходных данных использованы материалы наблюдений Департамента гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь по действующим гидрологическим постам за период инструментальных наблюдений, опубликованные в материалах государственных кадастров. Оценка водных ресурсов Беларуси осуществлялась с использованием данных по 120 гидрологическим постам, равномерно расположенным по территории Беларуси. Для получения сопоставимых результатов выбран единый 50-летний расчетный период: с 1960 по 2009 гг. Отобранные временные ряды проверялись на однородность, пропущенные значения были восстановлены стандартными методами с оценкой их достоверности.

В ходе исследования использовалась климатическая информация, а именно: временные ряды наблюдений за температурой воздуха, атмосферными осадками и дефицитами влажности воздуха с 1950 по 2009 гг. по 40 метеостанциям Беларуси, расположенным по исследуемой территории равномерно.

Для прогнозных оценок изменения водного режима рек Беларуси адаптирован метод гидролого-климатических расчетов (ГКР), предложенный В.С. Мезенцевым, основанный на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [4]. Положив в основу гидролого-климатическую гипотезу, мы разработали многофакторную модель, включающую стандартное уравнение водного баланса участка суши с независимой оценкой основных элементов баланса (атмосферные осадки, суммарное испарение и климатический сток) в годовом разрезе. Разработанная модель использована для оценки возможных изменений водных ресурсов рек Беларуси в зависимости от тех или иных гипотез климатических колебаний и антропогенных воздействий на характеристики водосборов.

Уравнение водного баланса речного водосбора за некоторый промежуток времени имеет вид:

$$Y_K(I) = H(I) - Z(I) \pm \Delta W(I), \quad (1)$$

где $Y_K(I)$ – суммарный климатический сток; $H(I)$ – суммарные ресурсы увлажнения; $Z(I)$ – суммарное испарение; $\Delta W(I)$ – изменение влагозапасов деятельного слоя почвогрунтов; I – интервал осреднения.

Суммарное испарение находится по формуле

$$Z(I) = Z_m(I) \left[1 + \left(\frac{\frac{Z_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)}}{\frac{KX(I) + g(I)}{W_{HB}} + V(I)} \right)^{n(I)} \right]^{-\frac{1}{n(I)}}, \quad (2)$$

где $Z_m(I)$ – максимально возможное суммарное испарение; W_{HB} – наименьшая влагоемкость почвы; $V(I) = W(I)/W_{HB}$ – относительная влажность почвогрунтов на начало расчетного периода; $KX(I)$ – сумма измеренных атмосферных осадков; $g(I)$ – грунтовая составляющая водного баланса; $r(I)$ – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов; $n(I)$ – параметр, учитывающий физико-географические условия стока.

Относительная влажность почвы на конец расчетного периода определяется из соотношений



$$V(I+1) = V(I) \cdot \left(\frac{V_{cp}(I)}{V(I)} \right)^{r(I)} ; \quad (3)$$

$$V_{cp}(I) = \left(\frac{\frac{KX(I) + g(I)}{W_{HB}} + V(I)}{\frac{Z_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)}} \right)^{\frac{1}{r(I)}} . \quad (4)$$

Максимально возможное суммарное испарение находится по методике, описанной в работе [1]. Суммарные ресурсы увлажнения определяются как

$$H(I) = KX(I) + W_{HB}(V(I) - V(I+1)) . \quad (5)$$

Решение системы уравнений (1) – (5) осуществляется методом итераций до тех пор, пока значение относительной влажности на начало расчетного интервала не будет равно значению относительной влажности на конец последнего интервала. При расчете начальное значение влажности принимается равным значению наименьшей влагоёмкости, т.е. $W(1) = W_{HB}$, откуда $V(1) = 1$.

Корректировка климатического стока осуществляется с помощью коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов на формирование руслового стока.

Моделирование водного баланса исследуемой реки реализовано в виде компьютерной программы и осуществляется в два этапа. На первом этапе производится настройка модели по известным составляющим водного и теплового балансов исследуемой реки или реки-аналога с учетом сходства формирования водного режима рек в зависимости от поставленной задачи. При настройке модели преследуется цель достичь наибольшего совпадения рассчитанного климатического и наблюдаемого руслового стоков. Первый этап заканчивается оценкой ошибок моделирования. Полученные параметры модели используются при проведении численного эксперимента.

Второй этап представляет собой непосредственный расчет водного баланса исследуемой реки с использованием параметров, полученных при калибровке модели. Расчет элементов водного баланса исследуемой реки производится с учетом конкретных особенностей рассматриваемого водосбора [2].

Результаты моделирования свидетельствуют о высокой точности расчета водного баланса как для практического применения, так и для теоретических исследований, что проверено на большом количестве рек Беларуси с площадью водосбора не более 1 000 км², на которых ведутся гидрометрические наблюдения. Таким образом, программа «Баланс» при наличии данных об атмосферных осадках, температуре воздуха, дефицитах влажности воздуха на расчетный период и современных значениях стока воды реки, а также гидрографических характеристиках водосбора позволяет получить прогнозные оценки водного баланса малых рек Беларуси на расчетную перспективу.

В качестве характеристики изменений компонентов климата на перспективу до 2020 г. использованы линейные и нелинейные тренды. Использовались временные ряды наблюдений за период с 1986 (начало роста средних годовых температур воздуха) по 2009 гг. с месячной дискретностью. Для этого периода строились линейные тренды для месячных и годовых величин атмосферных осадков, температуры воздуха и дефицитов влажности воздуха, а полученные параметры использовались для получения средних месячных и годовых величин на период до 2020 г. При этом статистическая значимость средней скорости изменений основных климатических характеристик оце-



нивалась по доле дисперсии и коэффициенту детерминации. В дальнейшем в расчетах использовались только статистически значимые тренды. Смоделированные средние значения месячных величин на период до 2020 г. увязывались с годовыми величинами. При распределении невязки суммарных месячных и годовых величин предпочтение отдавалось годовым величинам, а невязка распространялась пропорционально абсолютным значениям месячных величин.

Современное состояние водных ресурсов Беларуси

Естественные ресурсы речных вод Беларуси по бассейнам основных рек и административным районам, вычисленные за период 1960–2009 гг., и их изменения по отношению к данным, приведенным в [5], представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Суммарные поверхностные ресурсы Беларуси практически не изменились. В то же время произошло перераспределение естественных водных ресурсов по бассейнам основных рек. Наряду с увеличением стока Припяти и незначительным ростом водности Зап. Двины отмечено уменьшение поверхностных вод остальных речных систем страны за последние годы. Отмечен рост ресурсов поверхностных вод Брестской и Гомельской областей, а для Гродненской области характерно уменьшение водных ресурсов ввиду снижения водности Немана и Вилии. Изменения объемов стока рек и гидрологического режима в современных условиях вызваны в основном усилением интенсивности общей циркуляции атмосферы, что наглядно показано в работе.

Таблица 1. – Водные ресурсы Беларуси по бассейнам основных рек в 1960–2009 гг. (числитель) и их изменения по отношению к данным, приведенным в [5], (знаменатель) км³

Речной бассейн	Речной сток, км ³ /год									
	Местный					Общий				
	Обеспеченность, %									
	5	25	50	75	95	5	25	50	75	95
Западная Двина	<u>10,6</u> 0,1	<u>7,8</u> 0,1	<u>6,9</u> 0,1	<u>5,5</u> 0,0	<u>4,4</u> 0,1	<u>22,3</u> 0,4	<u>16,4</u> 0,2	<u>14,1</u> 0,2	<u>11,6</u> 0,3	<u>9,0</u> 0,4
Неман	<u>8,0</u> −0,5	<u>6,7</u> −0,4	<u>6,2</u> −0,4	<u>5,4</u> −0,5	<u>4,9</u> −0,3	<u>8,1</u> −0,5	<u>6,8</u> −0,4	<u>6,3</u> −0,4	<u>5,5</u> −0,5	<u>5,0</u> −0,3
Вилия	<u>2,9</u> −0,3	<u>2,4</u> −0,3	<u>2,1</u> −0,2	<u>1,8</u> −0,2	<u>1,4</u> −0,4	<u>2,9</u> −0,3	<u>2,4</u> −0,3	<u>2,1</u> −0,2	<u>1,8</u> −0,2	<u>1,4</u> −0,4
Западный Буг	<u>2,8</u> −0,2	<u>1,6</u> −0,2	<u>1,3</u> −0,1	<u>0,9</u> −0,2	<u>0,7</u> −0,1	<u>2,8</u> −0,2	<u>1,6</u> −0,2	<u>1,3</u> −0,1	<u>0,9</u> −0,2	<u>0,7</u> −0,1
Припять	<u>11,2</u> 1,3	<u>7,6</u> 1,1	<u>6,6</u> 1,0	<u>5,0</u> 0,6	<u>3,5</u> 0,4	<u>23,9</u> 1,7	<u>16,8</u> 1,5	<u>14,4</u> 1,4	<u>11,0</u> 0,9	<u>8,3</u> 1,3
Днепр	<u>16,3</u> −0,1	<u>11,8</u> 0,1	<u>11,0</u> −0,3	<u>9,5</u> 0,1	<u>7,8</u> 0,2	<u>28,2</u> 0,0	<u>20,3</u> 0,1	<u>18,7</u> −0,2	<u>15,6</u> −0,1	<u>13,1</u> 0,3
в т.ч.:										
Березина	<u>6,3</u> 0,1	<u>5,0</u> 0,1	<u>4,5</u> 0,0	<u>4,0</u> 0,1	<u>3,4</u> 0,1	<u>6,3</u> 0,1	<u>5,0</u> 0,1	<u>4,5</u> 0,0	<u>4,0</u> 0,1	<u>3,4</u> 0,1
Сож	<u>4,9</u> −0,1	<u>3,4</u> −0,1	<u>3,0</u> 0,0	<u>2,4</u> −0,1	<u>1,8</u> −0,2	<u>10,6</u> 0,0	<u>7,6</u> 0,1	<u>6,6</u> 0,2	<u>5,4</u> 0,2	<u>4,4</u> 0,1
В целом по Беларуси	<u>51,8</u> 0,3	<u>37,9</u> 0,4	<u>34,1</u> 0,1	<u>28,1</u> −0,2	<u>22,7</u> −0,1	<u>88,2</u> 1,1	<u>64,3</u> 0,9	<u>56,9</u> 0,7	<u>46,4</u> 0,2	<u>37,5</u> 1,2



Таблица 2. – Водные ресурсы Беларуси по областям в 1960–2009 гг. (числитель) и их изменения по отношению к данным, приведенным в [5] (знаменатель), км³

Административная область	Речной сток, км ³ /год				
	Обеспеченность, %				
	5	25	50	75	95
Брестская	7,5/0,3	4,8/0,2	4,2/0,2	3,3/0,1	2,4/0,0
Витебская	12,4/0,1	9,0/0,0	8,1/0,1	6,6/0,0	5,2/0,0
Гомельская	9,3/0,4	6,6/0,3	5,9/0,3	4,9/0,3	3,7/0,2
Гродненская	5,6/–0,4	4,7/–0,3	4,4/–0,3	3,8/–0,4	3,6/–0,2
Минская	9,9/–0,1	7,6/0,1	6,7/0,0	5,4/–0,2	4,5/–0,1
Могилевская	7,1/0,0	5,2/0,1	4,8/–0,2	4,1/0,0	3,3/0,0
В целом по Беларуси	51,8/0,3	37,9/0,4	34,1/0,1	28,1/–0,2	22,7/–0,1

В таблице 3 приведены естественные водные ресурсы Беларуси с учетом асинхронности стока рек, которая определяется генетическими особенностями формирования осадков, выпадающих на водосбор. Даже для относительно небольших территорий Беларуси сток в целом по стране отличается от суммы стока по бассейнам основных рек по причине более существенной асинхронности стока на всей территории страны, чем в отдельных регионах. Для бассейнов основных рек прослеживается достаточно тесная связь коэффициентов асинхронности от обеспеченности. С увеличением или уменьшением водности года эффект асинхронности увеличивается.

Таблица 3. – Естественные водные ресурсы Беларуси с учетом асинхронности

Речной бассейн	Речной сток, км ³ /год							
	Местный				Общий			
	Обеспеченность, %							
	5	25	75	95	5	25	75	95
Западная Двина	10,2	7,6	5,7	4,8	21,4	16,1	11,9	9,8
Неман	7,6	6,6	5,6	5,2	7,7	6,7	5,7	5,3
Виляя	2,7	2,4	1,9	1,6	2,7	2,4	1,9	1,6
Западный Буг	2,7	1,6	0,9	0,8	2,7	1,6	0,9	0,8
Припять	10,5	7,4	5,2	3,8	22,5	16,5	11,4	9,0
Днепр	15,5	11,6	9,9	8,4	26,8	19,9	16,2	14,1
в т.ч.:								
Березина	6,0	4,9	4,1	3,6	6,0	4,9	4,1	3,6
Сож	4,7	3,3	2,5	1,9	10,1	7,4	5,6	4,8
В целом по Беларуси	47,7	37,1	29,8	25,2	81,1	63,0	49,2	41,6

Ранее для территории Беларуси было построено несколько карт среднего годового стока воды рек: в 1966, 2000 и 2002 гг.

С целью уточнения водных ресурсов Беларуси построена карта среднегодового модуля стока рек Беларуси, представленная на рисунке 1.

При построении карты учитывались данные с 1960 по 2009 гг. по действующим гидрологическим постам. Количество использованных постов является достаточным для корректного отображения информации о годовом стоке на территории Беларуси,



что обосновано в работе [4]. Использование современных компьютерных технологий при построении карты среднего годового стока позволило исключить субъективизм авторов. Приведенная на рисунке 1 карта представляет собой оптимальное сочетание нескольких способов построения карт, использующих различные методы интерполяции и выполненных в разных программных системах. Наличие необходимого количества постов наблюдения за стоком, единого периода наблюдений и применение компьютерных технологий позволило получить объективную картину формирования среднего годового стока рек Беларуси в современных условиях.

Для рек бассейна Зап. Двины характерно несущественное увеличение значений стока. Для бассейнов Немана и Вилии, наоборот, выявлено его уменьшение. По Белорусскому Полесью проходит изолиния стока со значением 4, а не 3,5, как это было прежде, что свидетельствует об увеличении водности рек бассейна Припяти. Для Днепра и его основных притоков – Березины и Сожа, а также для Западного Буга выявлены как уменьшение, так и увеличение значений изолиний модуля среднего годового стока.

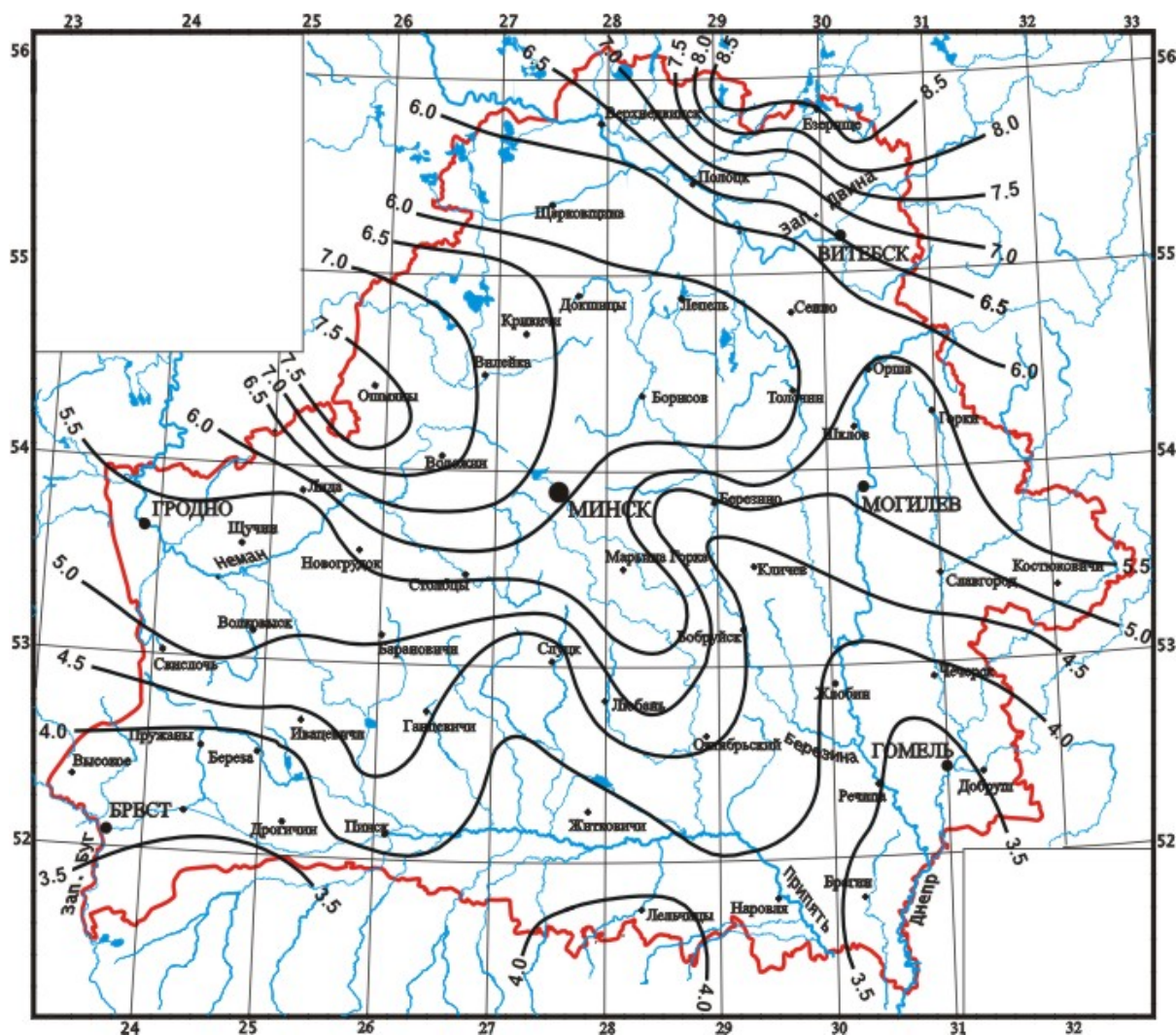


Рисунок 1. – Карта среднего годового стока рек Беларуси
за период 1960–2009 гг., л/(с·км²)



Прогнозные оценки изменения стока рек Беларуси

С помощью математических моделей ряды наблюдений за месячными значениями температуры воздуха, атмосферными осадками и дефицитами влажности воздуха были продлены на период до 2020 г., по которым получены значения математического ожидания на 2020 г. Установлено, что тренд средней годовой температуры воздуха составляет $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, среднегодовых значений атмосферных осадков $20\text{ мм}/10\text{ лет}$, среднегодовых значений дефицитов влажности воздуха $0,21\text{ мб}/10\text{ лет}$ (1985–2009 гг.). Существенно изменилась за это время внутригодовая структура рассмотренных климатических параметров, что особенно характерно для января, июля и сентября.

Анализ возможного изменения речного стока в зависимости от прогнозируемого изменения климата на период до 2020 г. показал, что прослеживается достаточно четкая тенденция к возможному изменению речного стока в направлении с северо-запада на юго-восток страны (рисунок 2).

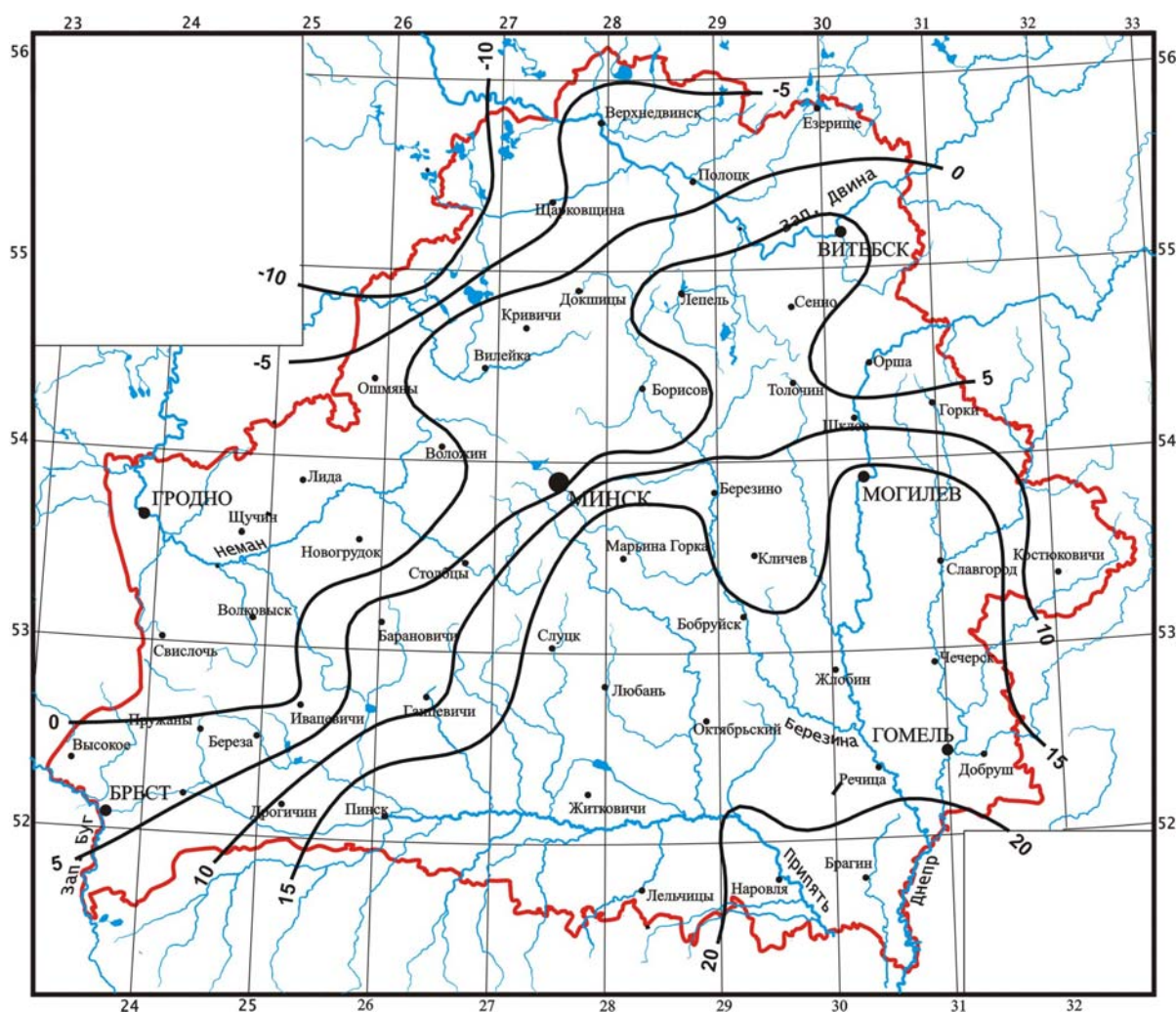


Рисунок 2. – Возможные изменения речного стока в зависимости от прогнозируемого изменения климата на период до 2020 г., % к 2009 г.

Установлено, что при прогнозируемом тренде климатических параметров на период до 2020 г. сток рек бассейнов Зап. Двины и Вилии сократится в среднем на 5–10%



по сравнению с настоящим уровнем. Годовой сток рек в бассейнах Немана и Зап. Буга существенных изменений на период до 2020 г. не претерпит. Наибольшее увеличение среднегодового стока воды рек может произойти в бассейнах Днепра и Припяти и может достигать для отдельных водосборов 20% по отношению к 2009 г. При исследовании возможной внутригодовой трансформации речного стока на период до 2020 г. отмечено наиболее существенное изменение месячных значений расходов воды в марте–июне.

Заклучение

Дана количественная оценка водных ресурсов Республики Беларусь. Установлено перераспределение поверхностных водных ресурсов по бассейнам основных рек и административным областям, в то время как суммарные естественные ресурсы речных вод страны практически не изменились. Изменения объемов стока рек и гидрологического режима в современных условиях вызваны усилением интенсивности общей циркуляции атмосферы. Построена уточненная карта модуля стока рек Беларуси. На основании тенденций в изменении температуры воздуха, атмосферных осадков и дефицитов влажности воздуха получены прогнозные оценки этих параметров на период до 2020 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волчек, А. А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) / А. А. Волчек // Науч.-тех. информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР), 1986. – № 12. – С. 17–21.
2. Волчек, А. А. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – Екатеринбург, 2007. – № 1. – С. 50–62.
3. Логинов, В. Ф. Оптимизация режимной гидрологической сети Беларуси / В. Ф. Логинов [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии ; под ред. И. И. Лиштвана, В. Ф. Логинова. – Минск, 2006. – Вып. 12. – С. 51–57.
4. Мезенцев, В. С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования / В. С. Мезенцев // Водные ресурсы, 1995. – Т. 22, № 3. – С. 299–301.
5. Плужников, В. Н. Водные ресурсы Беларуси, их использование и охрана / В. Н. Плужников, М. В. Фадеева, В. И. Бучурин // Природные ресурсы. – № 1. – 1996. – С. 24–29.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 04.09.2015

Volhek A.A., Obratsov L.V., Parfomuk S.I. Water Resources of Belarus and Their Possible Changes

The paper provides a revised quantitative assessment of the surface water resources of the Republic of Belarus with current climate variability and human impacts and the map of the long-term average runoff of the annual runoff of rivers. Water resources have not changed in general, but there was a redistribution of resources on the territory. On the basis of trends in the fluctuations of the major climatic parameters, using the method of hydrological and climatic calculations, forecasts of possible changes in water resources in the future was obtained.



УДК 550.7

Г.И. Рудько

д-р геол.-минерал. наук, д-р геогр. наук, д-р тех. наук,
проф. Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,
председатель Государственной комиссии Украины по запасам полезных ископаемых

НАУЧНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОГЕОЛОГИИ

Рассмотрена биогеологическая история Земли как процесс непрерывной трансформации и постоянной адаптации от первичных форм жизни к ее современному состоянию. Развитие жизни на Земле происходило в условиях изменений геологических процессов, химического состава атмосферы и водной среды, в периоды между глобальными катастрофами. В результате более чем за 3,8 млрд лет сформировалась природно-антропогенная система «человек – геологическая и смежная среда», которая трансформировала биосферу согласно потребностям человека, создав прецедент несоответствия потребностей человечества и ресурсов биосферы. Определены основные сценарии развития человека и биосферы вследствие наступления техногена. Исследованы сценарии развития техногена и роль человека в условиях интенсивной трансформации биосферы за счет техногенной деятельности.

Введение

Сегодня человечество оказалось в ситуации, когда противоречия между его потребностями и имеющимися ресурсами биосферы достигли критической точки. Исходя из результатов последних исследований необходимы новые подходы к выходу из этого состояния. Автором рассмотрены современная теория зарождения и развития жизни на Земле, формирование атмосферы и водного баланса планеты.

Древнейшие из известных минералов имеют возраст 4,2 млрд лет, а возраст древнейших пород, в которых найден углерод органического происхождения – около 3,8 млрд лет. До недавнего времени считалось, что возникновению жизни на Земле предшествовала очень длительная (миллиарды лет) химическая эволюция, которая включала спонтанный синтез и полимеризацию органических молекул, сочетание их в сложные системы – предшественники клеток, постепенное становление обмена веществ. Основной гипотезой происхождения жизни на Земле была гипотеза абиогенеза: первые биологические системы образовались из неорганической материи, появились первые клетки (прокариоты) и только после их появления начался интенсивный процесс биологической эволюции.

С развитием новых методов исследования органических остатков, содержащихся в архейских и протерозойских породах, а также остатков микроскопических клеточных структур эта гипотеза кардинально изменилась. Одним из самых удивительных палеонтологических открытий последних десятилетий является регистрация следов жизни даже в самых древних породах земной коры. Появление протожизни на Земле было почти мгновенным событием, эволюция от органических соединений к живым клеткам состоялась в очень сжатые сроки, в самом начале истории Земли (рисунок 1). Сейчас выдвинуто предположение, что жизнь на Земле существует столько же времени, сколько и сама наша планета.

На сегодня теория панспермии является одной из самых обсуждаемых теорий происхождения жизни на Земле. Согласно ей, рассеянные в космосе «зародыши» жизни (например, споры микроорганизмов) переносятся с одного небесного тела на другое метеоритами или под действием давления света, то есть первичная живая материя имеет



космическое происхождение. Об этом свидетельствуют обнаруженные в метеоритах органические соединения фосфилизованных примитивных организмов. Российские исследователи нашли в углистых хондритах (метеоритах) фосфилизованные цианобактерии и, возможно, несовершенные грибы, американские специалисты – следы бактерий в обломках пород с Марса, а группа ученых из Университета Кардиффа недавно идентифицировала в обломках метеорита, упавшего в конце 2012 г. на территорию о. Шри-Ланка, фосфилизованные остатки диатомовых водорослей [1; 2] (рисунок 2).

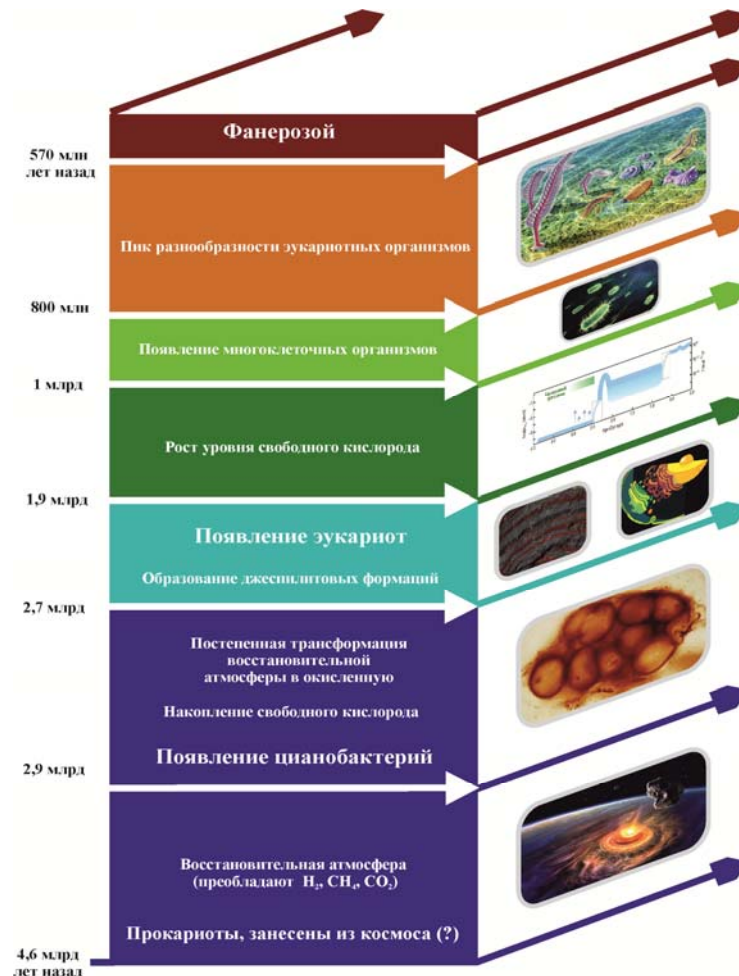


Рисунок 1. – Основные этапы формирования и развития биосферы докембрия

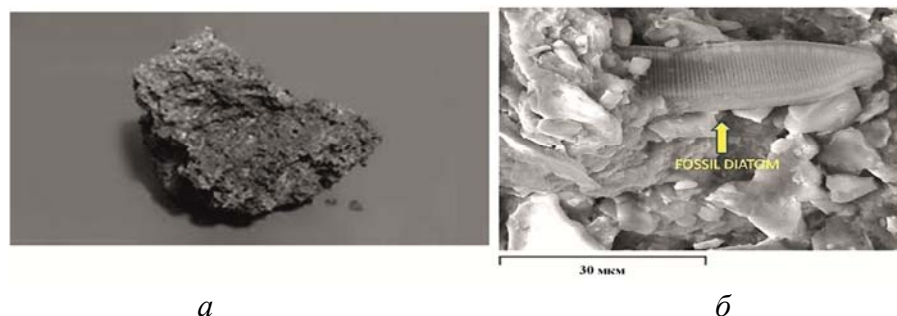
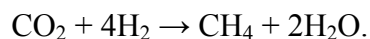


Рисунок 2. – Обломок метеорита, найденного на о. Шри-Ланка (а),
и выявленные под микроскопом следы древних диатомовых водорослей (б)



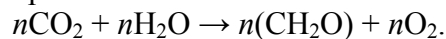
Теории возникновения жизни на Земле не разъясняли вопросы возникновения клетки. До сих пор нет практически ни одной гипотезы, которая правдоподобно описывала происхождения прокариот. В последние десятилетия разработаны специальные методы обработки осадочных горных пород, позволяющие выделять клеточные оболочки, которые содержатся в них, а в некоторых случаях даже получать косвенную информацию о внутреннем строении этих клеток. В докембрийских породах обнаружено множество одноклеточных организмов; древнейшие из них найдены в местоположении Варравуна (Австралия) и Онфервахт (Южная Африка), их возраст соответственно 3,5 и 3,4 млрд лет. Это несколько видов цианобактерий (сине-зеленых), которые практически не отличаются от современных. Итак, в раннем докембрии существовал особый мир, который формировался прокариотными организмами – бактериями и цианобактериями.

Древнейшие прокариоты, скорее всего, были хемоавтотрофами. Они приспосабливались к какой-либо химической реакции, которая проходила с выделением энергии и без их участия, сама по себе, только медленно. С помощью соответствующего фермента они начинали катализировать эту реакцию, многократно ускоряя ее. Например, древние прокариоты аноксигенным фотосинтезом восстанавливали углекислый газ до метана водородом:



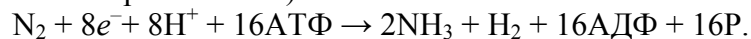
В результате такой деятельности в биосфере начали образовываться излишки метана и сульфатов. Появились симбиотические микробные группировки, способные окислять метан с помощью сульфатов. В результате снова образовывались углекислый газ и сероводород, которые испытывали дальнейшие изменения.

Позже (около 2,9 млрд лет назад) появились цианобактерии современного вида, содержащие хлорофилл, которые были способны к оксигенному фотосинтезу:



В качестве источника электронов они использовали воду.

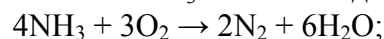
Кроме этого, цианобактерии (как и многие другие прокариоты) способны фиксировать атмосферный азот (при этом разрывается очень прочная связь между двумя атомами азота в его молекуле и образуются соединения азота, доступные для использования другими живыми организмами):



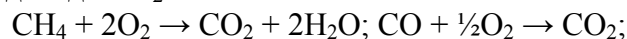
После появления цианобактерий прокариоты на нашей планете господствовали 1,5–2 млрд лет. Микроорганизмы становились все более многочисленными и разнообразными.

Древние цианобактерии превратили раннюю восстановительную атмосферу в кислородную, связав большое количество CO_2 в карбонаты в виде слоистых известняковых отложений – строматолитов с выделением O_2 как продукта фотосинтеза, который постепенно насыщал атмосферу.

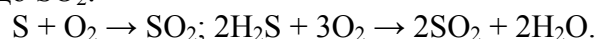
В восстановительной среде кислород, выделяемый цианобактериями, сначала расходовался на окисление различных соединений и не накапливался в свободном состоянии в атмосфере. При этом аммиак NH_3 окислялся до молекулярного азота N_2 :



метан и оксид углерода – до CO_2 :



сера и сероводород – до SO_2 :





Примерно 2 млрд лет назад содержание кислорода достигло 1% современного, что считается началом атмосферы нового, аэробного типа. Именно эти события дали толчок развитию эволюции в известном нам направлении. Эта теория описывает процесс формирования современной жизни. Так началась глобальная перестройка биосферы, ознаменовавшая процесс развития кислородной атмосферы.

Возможен такой механизм на других планетах земного типа? Несомненно.

Для анаэробных организмов увеличение концентрации кислорода было катастрофой, поскольку кислород очень агрессивный элемент, он быстро окисляет и разрушает органические соединения. Если в анаэробной биосфере, в толще строматолитов оставались аэробные карманы, откуда накопленный в результате фотосинтеза кислород просачивался в атмосферу, то теперь, когда биосфера превратилась в кислородную, анаэробные микроорганизмы нашли убежище в немногочисленных бескислородных карманах. В новой аэробной атмосфере могли выжить только те прокариоты, которые ранее в толще строматолитов приспособились к высокой концентрации кислорода.

Хемосфера боролась с этим отравлением окислением двухвалентного железа, которое непрерывно поступало в океан с магматическими излияниями, до трехвалентного, которое почти не растворялось в воде и поэтому выпадало в осадок вместе с карбонатами в форме кремнисто-железистых сезонно-ленточных (океан был холодным) илов. После метаморфизма из этих илов образовалась характерная для фотогена порода – джеспилиты. Отложения джеспилитов (железистых кварцитов) есть, например, на территории Украины в Криворожском железорудном бассейне.

Впоследствии сформировался озоновый слой, который экранировал поверхность Земли от попадания на нее смертельного ультрафиолета и сделал возможным развитие более высокоорганизованной формы жизни – эукариот. Первым следствием дорифейского экологического кризиса была массовая гибель прокариот в морях, остатки которых представлены в недрах протерозойскими нефтью, газом, графитом. Этот процесс характеризует перспективность докембрия по месторождениям углеводородного сырья.

Кроме бентосных прокариотных экосистем, представленных строматолитовыми матами, все это время существовали и планктонные, которые состояли из сферических одноклеточных водорослей – акритарх и шаровидных колоний. Считают, что именно в таких экосистемах в середине протерозоя (около 2 млрд лет назад) появились первые эукариоты.

Пик разнообразия эукариотических организмов в докембрии пришелся на интервал 900–800 млн лет назад. На фоне растущего разнообразия микроорганизмов увеличивались и их размеры [3]. Появившись почти 2 млрд лет назад, они в течение почти миллиарда лет не играли заметной роли в экосистемах, а все разнообразие этих организмов ограничивалось фитопланктонными формами – акритархами.

Около 1 млрд лет назад, в конце протерозойской эры, в эволюции эукариот произошел «большой взрыв»: сложились условия, благоприятные для появления больших и разнообразных организмов. Появились многоклеточные, способные к половому размножению (в Китае найдены ископаемые зародыши возрастом 600 млн лет). Раньше считали, что именно развитие функции полового размножения с обменом генетического материала вызвало такое разнообразие. Однако сейчас это предположение опровергнуто, поскольку бактерии тоже обмениваются генетическим материалом. Возможно, причиной была способность многоклеточных к росту, хотя некоторые их клетки уже выполняли определенные функции.



Эукариоты создали важную предпосылку для зарождения в рифее (позднем протерозое) многоклеточных растений и животных. Итак, чрезвычайно продолжительная эра господства бактерий и сине-зеленых, которые достигли в водах древних океанов значительного разнообразия форм и цветов в течение позднего рифея (1030–600 млн лет назад), завершилась появлением многоклеточных водных эукариот.

С появлением клеточного ядра эукариоты получили способность развивать сложные механизмы модификационной изменчивости. Именно это дало одноклеточным эукариотам возможность развить, во-первых, сложные жизненные циклы и половое размножение, во-вторых – многоклеточность [4].

Во время венда произошла еще одна радикальная перестройка жизни на Земле: быстрое повышение парциального давления кислорода вызвало взрыв возникновения новых форм жизни на Земле. Отличительным признаком всей вендской биоты является отсутствие скелета. У тех организмов не мог сформироваться мощный минеральный скелет по двум причинам: низкая эффективность ферментов, ответственных за биоминерализацию, из-за низких температур; высокая растворимость карбоната (в холодных водах он сложнее концентрируется и сохраняется).

Животные достигали больших размеров, некоторые – до 1 м, но имели желеобразные тела, которые оставляли отпечатки на мягких грунтах. Хорошая и массовая сохранность таких отпечатков косвенно свидетельствует об отсутствии трупоедов и крупных хищников в вендских биоценозах.

В самом начале кембрия – около 542 млн лет назад – у большой группы животных почти одновременно появился твердый минерализованный скелет (рисунок 3). Поскольку в ископаемом состоянии обычно находятся именно такие скелеты, а мягкие части бесследно исчезают, это событие в палеонтологической летописи выглядит как внезапное появление многих групп животных, названное учеными кембрийским «взрывом» (рисунок 4) [5].



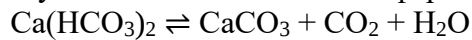
Рисунок 3. – Древний коралловый риф, образованный остатками первых организмов с минеральным скелетом (Намибия, Южная Африка)

Впоследствии выяснилось, что предки многих кембрийских групп животных жили и раньше, но поскольку они были мягкотелыми, их остатки практически не сохранились в докембрийских породах. Поэтому загадка кембрийского «взрыва» скорее лежит в плоскости выявления причин одновременного появления минерального скелета у многих типов животных. Это событие связывают с изменением условий среды, в частности с резким уменьшением кислотности воды, в результате чего карбонат кальция (CaCO_3), как самый распространенный скелетообразующий материал, стал менее растворимым в морской воде и легче выпадал в осадок.



Для эволюции поверхностной оболочки Земли очень важным было взаимодействие углекислого газа с изверженными горными породами. При этом силикаты распадались с вымыванием из них щелочных (Na) и щелочноземельных (Ca) металлов. В первом случае в воды поступал NaHCO_3 , во втором – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

В геологическом масштабе времени углекислотное выщелачивание считают определяющим для извлечения углекислого газа из атмосферы [6]. В обратной реакции



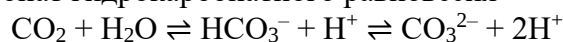
половина углекислого газа возвращалась в цикл, а остальная выводилась из него с образованием карбонатов.

В течение архея – протерозоя химическое выветривание способствовало формированию мощных карбонатных платформ в зоне контакта континентов и океана как одних из главных осадочных пород. В этом процессе участвовали группы цианобактерий, которые сформировали слои строматолитов. В фанерозое их сменили эукариоты с карбонатным скелетом, образовавшие рифы.



Рисунок 4. – Основные этапы формирования и развития биосферы фанерозоя

Из реакции карбонат гидрокарбонатного равновесия



следует, что pH среды зависит от доступного Ca^{2+} : пока он не израсходован, избыточный углекислый газ поступает в карбонаты и pH не повышается. В то же время, пока есть CaCO_3 , pH снижается, поскольку карбонаты растворяются. Состав раствора зависит от соотношения Ca и Na в изверженных породах. Особенно усиливалось выщелачивание



чивание подземными водами измельченных вулканических продуктов, которое нередко сочеталось с повышенной температурой в зонах рифтогенеза.

Вместе с тем в обычных условиях углекислотное выщелачивание является довольно медленным процессом, который ускоряется под влиянием биоты в 10–100 раз. Итак, в нейтральной среде развитие живых организмов связано с наличием в нем кальция.

Одновременное массовое появление скелетов (карбонатных, фосфатных и кремниевых) у многоклеточных животных в начале кембрия можно объяснить или потеплением, или колонизацией животными низких широт.

Другим фактором могло быть увеличение биоразнообразия и связанное с ним удлинение трофических цепей. Концентрация ионов (особенно кальция, магния, фосфора и кремния) росла экспоненциально по трофической цепи. Возникает необходимость их вывода или детоксикации. У части беспозвоночных появилась возможность строить минеральный скелет в результате детоксикации в условиях тепловодных местообитаний, где растворимость ряда биоминералов ниже, а эффективность ответственных за минерализацию ферментов выше, чем в холодных водах. Возможно, животные не могли колонизировать тепловодные места до тех пор, пока в достаточной мере не повысился уровень кислорода. В теплой воде кислорода растворяется меньше. Известно, что эукариоты хуже переносят перегрев, чем прокариоты и простейшие, что может быть связано с их повышенной потребностью в кислороде.

Однако для образования карбонатных скелетов животных недостаточно было одних только благоприятных условий среды. Нужны были специальные гены и ферменты, с помощью которых животные могли бы контролировать образование и рост кристаллов карбоната кальция в нужных местах и в нужном количестве.

Важнейшую роль в образовании карбонатных скелетов у животных играет фермент карбоангидраза [7], которая примерно в миллион раз ускоряет реакцию превращения растворенного в воде углекислого газа в гидрокарбонат:



Карбоангидраза широко распространена в живом мире, в том числе и у прокариот. Кроме биоминерализации, она участвует в выполнении множества других функций (регуляция pH, транспорт ионов, вывод CO₂ из тканей и др.).

В результате образования у животных скелетов в кембрии появились новые способы существования в пределах морского мелководья. Губки получили возможность фильтровать бактерии, трилобиты – закапываться в донные отложения, моллюски – ползать по поверхности морского дна. Брахиоподы, мшанки и иглокожие смогли подниматься вертикально из воды, держаться над ее поверхностью и эффективнее фильтровать воду с микроорганизмами для получения пищи. Без твердых частей тела подобный образ жизни был бы невозможен или, по крайней мере, менее продуктивен. По мнению американского ученого Д.Е. Хатчинсона, появление у живых организмов в начале фанерозоя скелетов, способных к фоссилизации, отражает в основном возникновение хищничества. До тех пор биосфера в целом была мирным царством, в котором защитные панцири были не нужны.

В кембрийский период на Земле существовали огромные участки, занятые континентальным шельфом или материковыми отмелями. Здесь создались идеальные условия для жизни: дно, покрытое слоем мягкого ила, и теплая вода. К тому времени в атмосфере содержалось много кислорода, хотя его было меньше, чем сегодня.



В течение фанерозоя происходили значительные перестройки (биотические события), что зафиксировано изменениями разнообразия организмов. Массово появлялись новые группы организмов высокого таксономического ранга и вымирали старые.

Долгое время глобальные катастрофы, которые могли влиять на эволюцию земной жизни, мало интересовали ученых. Геологам и палеонтологам было важнее понять постепенную и непрерывную смену видов. Только недавно, в середине прошлого века, когда было установлено, что массовые вымирания по времени совпадают с катастрофическими событиями, такими как вспышки вулканизма и падение метеоритов, их начали изучать целенаправленно.

Впервые о катастрофах, которые происходили на Земле в прошлом, заговорил в начале XIX в. французский натуралист Жорж Кювье. Ученый обратил внимание на то, что в недрах Земли горизонты, богатые останками доисторических животных, чередуются с горизонтами, бедными на эти находки. При этом Ж. Кювье обнаружил, что в каждом новом слое, обогащенном костями, останки принадлежали животным других разновидностей, а не тем, что были найдены в предыдущем и последующем слоях, то есть не тем, которые жили на Земле раньше или позже, конечно, в геологическом масштабе времени.

Кислородная катастрофа – одно из важнейших событий в истории Земли, именно вследствие нее в атмосфере нашей планеты появился кислород, без которого мы не можем жить. Эта важное экологическое событие произошло примерно 2,5 млрд лет назад. Формирование кислородной атмосферы является определяющим событием, который объясняет механизм трансформации биосферы от прокариот (дышащих азотом, метаном и т.п. и выделяющих кислород), к высшим, более организованным формам жизни, которые используют кислород для жизнеобеспечения.

Ход дальнейшего развития жизни в большой степени зависел от геологических процессов, которые корректировали направление развития биоты. Не следует исключать и поступательного движения по совершенствованию условий самоорганизации живой материи. Итак, эпоха прокариот, которая обусловила формирование кислородной атмосферы, привела их к гибели, создав качественно новую платформу для жизни – развития эукариот, энергетика жизни которых основана на процессе дыхания.

Кембрийский «взрыв» – внезапное (в геологическом смысле) появление в раннекембрийских (около 542 млн лет назад) отложениях окаменелостей представителей многих подразделений животного царства на фоне отсутствия их окаменелостей или окаменелостей их предков в докембрийских отложениях.

Ордовикско-силурийское вымирание – массовое вымирание на границе ордовикского и силурийского периодов – около 450–440 млн лет назад: третье по количеству вымерших родов из пяти крупнейших вымираний в истории Земли и второе – по потерям количества живых организмов.

Сейчас ордовикско-силурийское вымирание интенсивно изучают. Хронология соответствует началу и окончанию тяжелых ледниковых периодов фанерозоя, которые ознаменовались в конце длительным похолоданием в верхнем ордовике. Это пагубно сказалось на фауне конца ордовика, для которого был характерен типично парниковый климат. Этому предшествовало уменьшение содержания в атмосфере углекислого газа, которое избирательно коснулось организмов, живших в мелководных морях. Ледники удерживали воду, в межледниковый период – освобождали ее, по этой причине уровень Мирового океана существенно колебался несколько раз. Уровень больших мелководных внутриматериковых морей ордовика поднимался, разрушались биологические



ниши, затем он снова возвращался в прежнее состояние, при этом уменьшались популяции, часто исчезали целые семьи организмов. Погибло более 60% морских беспозвоночных, включая две трети всех семей брахиопод и мшанок. Доказательства оледенения найдены в отложениях в пустыне Сахара.

Сейчас многие ученые придерживаются теории, что причиной начала вымирания была вспышка гамма-излучения от сверхновой, находящейся в 6 тыс. световых лет от Земли (в ближнем относительно Земли рукаве галактики Млечный Путь). Десятисекундная вспышка привела к истончению озонового слоя атмосферы Земли примерно вдвое, подвергнув организмы, которые жили на поверхности (в том числе и ответственные за планетарный фотосинтез) сильному ультрафиолетовому облучению. Однако однозначных доказательств того, что подобные гамма-вспышки происходили, не найдено.

Девонское вымирание – массовое вымирание видов в конце девона, одно из крупнейших в истории Земли вымираний флоры и фауны. Первый (и самый сильный) пик вымирания приурочен к началу фаменского яруса – последнего яруса девонского периода, около 374 млн лет назад, когда неожиданно исчезли почти все бесчелюстные. Второй импульс завершил девонский период (около 359 млн лет назад). Всего вымерло 19% семейств и 50% родов. Причины этого пока неясны. Основная теория предполагает, что главной причиной вымирания в океанах стали изменения уровня океана и снижение уровня кислорода в океанических водах. Вероятно, активатором этих событий было глобальное похолодание или обширный океанический вулканизм, хотя падение внеземного тела, такого как комета, также вполне возможно. Некоторые статистические исследования морской фауны того времени наводят на мысль, что уменьшение разнообразия живого мира было связано скорее со спадом темпа видообразования, чем с ростом скорости вымирания.

Массовое пермское вымирание, или пермско-триасовое вымирание (неформально известно как «великое вымирание», или «самое массовое вымирание всех времен») – одно из пяти массовых вымираний, стало чертой, разделяющей пермский и триасовый периоды, то есть палеозой и мезозой, примерно 251,4 млн лет назад. Это одна из крупнейших катастроф биосферы в истории Земли, привела к вымиранию 96% всех морских видов и 70% наземных видов позвоночных. Катастрофа стала единственным известным массовым вымиранием насекомых, когда вымерло около 57% родов и 83% видов всего их класса. Из-за потери такого количества и разнообразия биологических видов восстановление биосферы продолжалось гораздо дольше, чем после других катастроф.

Модели, по которым оно происходило, обсуждаются. На сегодня у специалистов нет единого мнения о причинах вымирания. Рассматривают несколько возможных причин, такие как постепенные изменения окружающей среды (аноксия – изменение химического состава морской воды и атмосферы, в частности дефицит кислорода, повышение сухости климата, изменение океанических течений и (или) уровня моря под влиянием изменений климата) и катастрофические события (падение одного или нескольких метеоритов, столкновение Земли с астероидом диаметром в несколько десятков километров, резкое усиление вулканической деятельности, внезапный выброс метана со дна моря).

Триасово-юрское вымирание является границей между триасовым и юрского периода (200 млн лет назад) – одно из крупнейших вымираний мезозойской эры, глубоко затронуло жизнь на Земле. Целый класс конодонтов, которые составляли 20% всех морских семейств, все широко распространенные не динозавроподобные архозавры,



многие виды земноводных исчезли полностью. По меньшей мере, половина известных ныне видов, живших на Земле в то время, вымерли. Это событие высвободило экологические ниши и с юрского периода начали доминировать динозавры. Триасовое вымирание произошло менее чем за 10 000 лет, непосредственно перед тем, как Пангея начала распадаться на части. Было предложено несколько объяснений этого события, но все они не в полной мере соответствуют следующим требованиям:

1) постепенное изменение климата или флуктуации уровня океана в течение позднего триасового периода, однако это не объясняет внезапность вымирания существ в океане;

2) падение астероида, однако нет датированного ударного кратера, образование которого совпадало бы с триасово-юрской границей;

3) массовые извержения вулканов, особенно излияние базальтовых лав в Центрально-Атлантической магматической области, которые освободили в атмосферу углекислый газ или диоксид серы, которые, в свою очередь, стали причиной сильного глобального потепления (от первого газа) или похолодания (от второго газа);

4) гипотеза о метан-гидратном «ружье»: потепление из-за вулканизма и накопление углекислого газа в атмосфере привело к освобождению метана из донных гидратов; выделение метана (более сильного парникового газа, чем CO_2) ускорило потепление еще в большей степени, что, в свою очередь, интенсифицировало процесс освобождение метана со дна океанов и повлекло быструю смену глобальной температуры.

Мел-палеогеновое вымирание (около 65 млн лет назад) охарактеризовалось новым массовым вымиранием видов: исчезло около 40% всех существовавших тогда семейств животных. Исчезли птерозавры, аммониты, мозазавры, но главными жертвами этой катастрофы были, конечно же, динозавры. Причина вымирания до сих пор остается невыясненной.

По этому вопросу существуют две полярные гипотезы. По одной из них, более высокоорганизованные группы вытеснили и уничтожили менее организованные. Важная роль при этом принадлежала изменениям палеогеографических условий, например, таким как резкое увеличение площади суши. Вторая гипотеза во главу угла выводит катастрофические процессы, в частности, падение метеоритов. Это могло повлечь резкое изменение температуры воздуха и воды, изменить состав атмосферы, уровень солнечной радиации и т.п. Следует отметить, что обе гипотезы имеют право на существование и поиски научно обоснованных доказательств того или иного сегодня довольно актуальны.

Эоценово-олигоценовое вымирание (известное также по европейской фауне как «Великий перелом» (франц. «Grande Coupure»)) – значительные изменения в составе морской и наземной флоры и фауны. Началось в конце эоцена – начале олигоцена около $33,9 \pm 0,1$ млн лет назад. Значительно уступало по масштабности пяти крупнейшим массовым вымиранием в истории Земли. В океанах это вымирание было весьма растянутым во времени и продолжалось примерно 4 млн лет (конец – поздний эоцен). Суммарное вымирание морских животных оценено в 3,2%, что в несколько раз превышало фоновый показатель 0,66%. Более половины вымирающих семей в конце эоцена составляли фораминиферы и морские ежи. На уровне родов заметно вымирал (около 15%) морской бентос. По отдельным видам можно выделить исчезновения в этот период древних китообразных.

Существует несколько гипотез, объясняющих причины вымирания, однако единого мнения среди палеонтологов по этому вопросу нет. Обоснованными и достаточно изученными гипотезами являются:



1. Столкновения Земли с астероидами; по мнению многих ученых, резкое изменение климата, которое повлекло вымирание видов, вызвали последовательные удары двух метеоритов, упавших в Северной Америке (Чесапик-Бей) и Сибири (Попигай); из-за резкого снижения температуры в атмосфере значительно уменьшилась концентрация углекислого газа; немало метеорологов именно с олигоценом связывают процесс формирования Антарктического ледяного щита; однако следует отметить, что влияние падения астероидов на климат в геологическом масштабе времени очень кратковременное.

2. Извержения супервулканов; некоторые ученые утверждают, что из 47 известных извержений супервулканов 23 произошли в этот период вымирания; огромные площади территории современной Северной Америки были покрыты километровыми слоями отложений туфа и пепла (под супервулканическими понимают извержения особого типа, которые происходят из системы радиальных трещин, когда скопление магмы поднимает целый вулканический район, а не один вулкан, соответственно объем выбросов веществ в атмосферу в разы превышает объемы выбросов обычных земных вулканов).

3. Изменение климата на границе перехода эоцена в олигоцен.

4. Частичное затенение Земли ее гипотетическими кольцами; в 1980-х гг. была выдвинута гипотеза о возможности существования в определенный период развития Земли системы колец, подобных кольцам Юпитера, дальнейшие исследования которых натолкнули некоторых ученых на мысль, что тень от них могла вызвать глобальное похолодание климата, которое, в свою очередь, обусловило вымирание многих видов морских организмов в позднем эоцене.

Техноген. Процесс формирования человека завершился только в эпоху верхнего палеолита (около 40 тыс. лет назад), когда появился современный тип человека – *Homo sapiens* – человек разумный (кроманьонец) (рисунок 5).

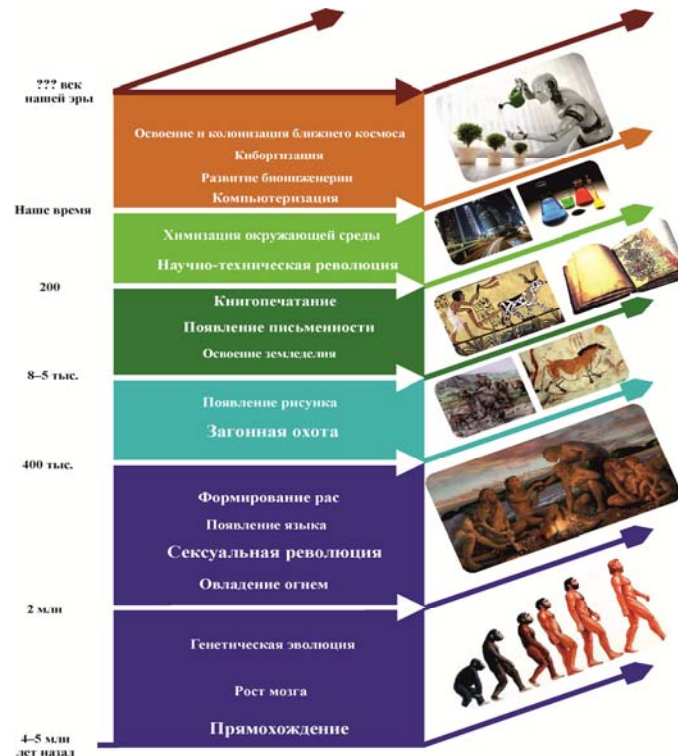


Рисунок 5. – Основные этапы формирования и развития человека



Вообще, провести границу, которая отделяет человека от животного, сложно, как и грань, которая отделяет живое от неживого. Поэтому информационный критерий – появление языка и генетического кода – четкий. Однако этот процесс неотделим от социальных отношений. Иначе говоря, человек появился не сам по себе, а в форме общества, подобно тому, как жизнь зародилась не в виде организма, а в форме живого вещества или поля живого вещества [8].

По последним данным, основанным на концепции Ю.И. Семенова [9], появление человека геологически было мгновенным событием, связанным с сексуальной революцией. Известно, что в животном мире эструс – период сексуальной возбудимости самок – строго ограничен (у обезьян – около 5 суток) и только у женщин – постоянный. Кратковременность эструса у австралопитеков приводила к сокращению их стада, потому что выжить они могли только в условиях жесткой системы биологического доминирования сильного самца. Поэтому в процессе эволюции создавались благоприятные условия для быстрого роста мозга (100–30 тыс. лет назад) и удлинения периода эструса в результате мутаций. В стаде отношения между самцами стали терпимее, а, следовательно, охотников и мяса – больше. Как следствие, система биологического доминирования в такой популяции могла в течение одного-двух поколений смениться системой социальных отношений. Биологический переход от самки к женщине был большим прогрессом в эволюции – выходом на новые информационный и энергетический уровни, поскольку он означал становление речи, переход к овладению огнем.

Примерно во втором тысячелетии до нашей эры зародилась письменность – мощное средство фиксации и ретрансляции социально-культурных достижений. Началась эпоха цивилизации. Происходил общественное разделение труда, появлялись города, развивался товарообмен, закладывались основы правового регулирования отношений между людьми, возникли государства и первые писанные законы.

Со временем человек с соответствующими средствами производства стал главной геологической силой и потребителем энергетических ресурсов планеты. Развитие патриархального общества, выбрав природопокорительную идеологию, обеспечило свой быстрый прогресс за счет увеличения экспансии в природу и деградации последней. Это закономерно привело ко второму глобальному экологическому кризису (первый – кислородная катастрофа), в результате которого биосферу начала вытеснять техносфера, которая формирует третий ноокибернетический ствол жизни, адаптированный к любым неокислородным средам, в том числе и к космической.

Техноген, как современный этап геологической истории, характеризующийся интенсивной деятельностью человека и усилением ее влияния на геологическую среду, начался в голоцене и будет продолжаться до тех пор, пока существует человечество.

Проблемы, стоящие перед человечеством, тесно связаны между собой. Быстрый рост численности населения приводит к более интенсивному использованию природных ресурсов, обостряет продовольственную проблему.

Уже сегодня человечество потребляет природных ресурсов на порядок больше, чем можно изымать из биосферы без ущерба ее биогеохимическим циклам и без нарушения процесса самовосстановления. Иначе говоря, человечество начиная с XX в. живет за счет своих потомков. Более того, оно поставило биосферу, а значит, и себя как неотъемлемую ее часть на грань полной деградации.

В связи с резким обострением экологического кризиса и осознанием того, что в условиях ухудшения качества окружающей среды невозможно здоровое общество и здоровая экономика, многие ученые и организации в 1970-е гг. начали исследования



реальных путей развития Земли при сохранении существующих тенденций или экологической корректировки дальнейшего развития. Были предложены «сценарии» развития Земли, которые чаще основывались на изложении личных представлений авторов о возможном развитии, и реже – на научном прогнозировании последствий существующих тенденций (неконтролируемый рост численности населения, интенсификация экономики без учета возможностей Земли и т.п.) с использованием мощных компьютерных моделей. На сегодня разработаны различные сценарии, которые существенно отличаются по степени научной обоснованности и объективности. Некоторые из них носят откровенно эмоциональный апокалиптический характер и предупреждают о скором крушении; другие объективнее и дают рекомендации относительно конкретных действий [10–12]. Рассмотрим основные сценарии развития человечества в техногене.

Экологический волюнтаризм (лат. *voluntas* – воля), в основе которого лежит антропоцентрический принцип о предназначении Природы для удовлетворения потребностей не только человечества, но и каждого индивидуума, ложные представления о неисчерпаемости природных ресурсов и безграничные возможности человека. В прогнозируемый период времени он приведет к возникновению явлений «экологического булмеранга» – негативного влияния факторов среды на все сферы существования человека. Экологический волюнтаризм влечет стремление к экстенсификации существующих методов хозяйствования, отрицание необходимости его интенсификации на новой научно-технической основе. Характеризуется отсутствием экологического мышления, полным игнорированием законов экологии, непониманием неизбежности перехода к новым технологиям, которые при повышении социально-экономического эффекта были бы одновременно экологически рациональными, а затем и перехода к развитию в рамках хозяйственной емкости экосистемы. Сам по себе сценарий исторически интересный, но конкретная хозяйственная деятельность нередко строится именно на интуитивных представлениях о сиюминутной выгоде от тех или иных проектов [13].

Сценарий управления природой базируется на необходимости сохранения биосферы как основы существования человечества. Предусматривает использование природных ресурсов с учетом «экологических императивов» – ограничений, направленных на сохранение ресурсного потенциала планеты путем «экологизации производства» и содействие восстановительным процессам на основе познания и соблюдение законов Природы.

Технократический сценарий основан на признании возможности полной замены биосферы как источника необходимых для человечества ресурсов на технические средства. Допускается и замена самого человека на «искусственный интеллект» и «киборгов» – биокибернетических организмов с человеческим мозгом и механическим телом; роль человека сводится к производству необходимых частей киборгов.

Космический сценарий предусматривает использование космоса для расселения людей, получения ресурсов, размещения отходов и решения любых проблем, которые встанут перед человечеством. Рано или поздно человечеству придется покинуть Землю и начать колонизацию других звездных систем. От этого зависит не только его выживание – человечеству как виду присуще стремление к развитию, движению вперед. Выйдя за пределы географических рубежей и биологических ограничений, оно обусловило дальнейшее развитие цивилизации, что привело к технологическим, социальным, политическим и экономическим изменениям в обществе.

«Возвращение к природе» – сценарий, основанный на распространенном среди экологических экстремистов взгляде, которые считают, что вопреки необратимости ис-



торического развития человечество может вернуться к пасторальной идиллии прошлого и удовлетворять свои потребности «плодами» земли. Человечество не должно делать шаг вперед (как предполагает большинство футуристов), а должен осуществить гигантский скачок назад. Основной предпосылкой является то, что общество стало в основном потребителем, поэтому должен взять курс на сознательный регресс (с эволюционной точки зрения) до состояния, когда человек не наносил ущерба планете. Только возвращение к доцивилизационному обществу может снять угрозу для планеты, природы и для самих себя. Конечной целью будет конец цивилизации и возвращение людей в джунгли.

«Вперед к природе» – создание путем генной инженерии организмов с новыми свойствами, которые, будучи введены в экосистемы, будут контролировать их в заданном направлении. Будущее, в котором природа станет куда более буйной и пышной, чем мы можем себе представить. Новые течения энвайронментализма и трансгуманизма (такие как техногайянизм) обуславливают развитие технологий, направленных на восстановление окружающей среды. Нано- и биотехнологии можно будет использовать для очистки свалок и уничтожение отходов производства. А в далеком будущем возможно трансформации Земли до ее первозданного вида. В далеком будущем наша планета может стать экологически более диверсифицированной, чем она когда-либо была в своей истории. Людей придется генетически модифицировать, чтобы они не мешали общей гармонии окружающей среды. Все энергетические потребности человечества будут удовлетворены раз и навсегда – мы станем цивилизацией первого типа по шкале Кардашова (планетарная цивилизация использует ресурсы своей планеты полностью, планеты ее звездной системы колонизируются и становятся частью ресурсной базы). Некоторые экологи выступают еще и за корректировку экосистемы Земли: уничтожение хищников, чтобы травоядные животные не страдали. Появится возможность контролировать погоду и средства защиты от природных катаклизмов: астероидов, землетрясений, извержений вулканов. Однако последствия новейших биотехнологий пока непредсказуемы, а тем более изменения экосистем при их внедрении.

Катастрофический сценарий предполагает гибель человечества в результате одной из антропогенных катастроф: ядерной войны, истощения ресурсов, загрязнения среды и тому подобное. В результате возможной ядерной войны снизится проницаемость атмосферы для солнечного света из-за запыления, в результате глобального изменения климата наступит «ядерная зима», что повлечет развитие цепных негативных реакций в биосфере до полной ее гибели. Экологическая катастрофа в результате хозяйственной деятельности будет закономерным финалом прогресса цивилизации, замены природы на техносферу – саморазвивающуюся систему, управлять которой, вследствие ее сложности, человек не может.

Деградация человечества – вырождение человека из-за изменения наследственного аппарата в результате мутагенного действия загрязненной среды, духовная и нравственная деградация (ориентирование на материальное потребление, наркомания, алкоголизация). Многие люди наносят вред своему здоровью, прекрасно осознавая негативные последствия (например, курение, употребление алкоголя, наркотиков, других психотропных препаратов), причем действия правительств некоторых государств недвусмысленно указывают на определенную их заинтересованность в развитии таких видов бизнеса. В будущем человечество может столкнуться с проблемой повального употребления лекарственных средств, содержащих наркотики, или же наркотиков, и усилия рекламы, направленной на то, чтобы приучить наших детей считать лекарства чем-то жиз-



ненно необходимым, обыденным. Лекарства превращаются из средства лечения в продукт питания, а это чревато очень серьезными последствиями в будущем человечества.

В документах ООН, принятых в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, как новая теория существования всего человечества и природной среды была предложена *концепция устойчивого развития*. Она сформулирована как способ преодоления главной для современной цивилизации экологической угрозы, существовавшей в виде какой-то теоретически обоснованной опасности, осознаваемой сравнительно узким кругом ученых и политиков и связанной с перенаселением, необратимым расходом невозобновляемых природных ресурсов, загрязнением окружающей среды. Устойчивое развитие предусматривало гармонизацию отношений человечества и биосферы, его развитие в гармонии с законами природы, что становится возможным при условии осознанных ограничений на потребление ресурсов, исходя из возможностей биосферы. Главной целью устойчивого развития является улучшение качества жизни людей без нарушения устойчивости экосистем. Хотя в целом концепция устойчивого развития была принята мировым сообществом, до сих пор не вполне понятно, как достичь этой цели и оценить степень приближения к ней, ведь определение первичных потребностей очень отличается для людей разных стран и континентов.

В июне 2012 г. состоялась конференция ООН по устойчивому развитию «Рио+20», которая показала, что на сегодняшний день, к сожалению, мировое сообщество не готово серьезно, на политическом уровне подойти к вопросу будущего мира. Доминирует экономическое мышление, которое не занимается долговременными последствиями.

В современном мире наблюдается значительная разница между имеющимися в отдельных странах природными ресурсами и объемами их потребления в различных странах. На сегодня доказан факт, что 20% населения Земли, живущего в промышленно развитых странах мира, потребляет 80% всех ресурсов, а остальные 80% населения слаборазвитых стран – всего 20% ресурсов.

Сегодня жесткая конкурентная борьба за основные ресурсы планеты Земля между ведущими государствами мира становится ареной ожесточенной борьбы геополитических интересов, неравенство в мире, безусловно, растет, увеличивается поляризация общества.

Согласно этому варианту развития событий, мир может разделиться на протекционистские блоки, страны будут вести жестокие войны за жизненно важные ресурсы, например за воду и источники энергии – нефть, газ.

Развитые страны, сохраняя для своего населения высокий уровень потребления, политическими, военными и экономическими мерами будут держать остальной мир в промышленно неразвитом состоянии как сырьевой придаток, зоны сброса вредных отходов и источника дешевой рабочей силы.

В условиях такой борьбы между транснациональными корпорациями за сферы влияния на разных континентах для предотвращения уничтожения биосферы планеты ядерным оружием единственным решением остается модернизация системы международных отношений: переход от открытого противостояния к партнерству и взаимовыгодному сосуществованию.

Важным перспективным направлением развития общества остается информатизация человечества – высокоорганизованный социально-экономический и научно-технический процесс разработки и создания благоприятных условий для удовлетворения информационных потребностей с использованием информационных ресурсов. Одним



из перспективных научных направлений является глобальное моделирование или построение математических моделей, реализуемых на суперкомпьютерах, с помощью которых оценивают различные варианты решения мировых проблем.

Поскольку характерной чертой для человека является неумеренность потребления, ученые в будущем предлагают скорректировать эту вредную черту постепенной заменой человеческого мозга на искусственный интеллект, то есть провести киборгизацию общества. Ученые научатся не только воспроизводить каждую часть человеческого тела, но и корректировать потребности и возможности человека в различных условиях внешней среды, что обеспечит существование живых организмов даже в экстремальных условиях.

Однако такой сценарий развития будущего может пойти в другом направлении, если машины с нечеловеческим интеллектом начнут самосовершенствоваться и человек окажется неспособным остановить этот процесс. Это приведет к чрезвычайно быстрому технологическому развитию, к созданию мира, где технологии превзойдут человека и станут управлять финансовыми рынками, научными исследованиями, людьми и разработкой оружия, недоступными нашему пониманию. Поэтому сложно прогнозировать, какие последствия для людей может иметь создание искусственного интеллекта.

С одной стороны, большинство сценариев развития Земли довольно пессимистичны, кризисное состояние планеты предполагается в середине XXI века, с другой — есть целый ряд безусловных достижений человечества, которые оставляют надежду на преодоление основных кризисных явлений и постепенное достижение устойчивого (экологического) состояния планеты и всех стран.

Заключение

Человечество поставило биосферу, а значит, и себя как неотъемлемую часть биосферы на грань полной деградации. Быстрый рост численности населения на Земле, стремительное увеличение объемов использования природных ресурсов ставят перед человечеством новые задачи, которые заключаются в освоении космического пространства, поисках жизни на соседних планетах и их освоения в будущем. Путь эволюции, который прошла планета Земля от начала формирования, длительный процесс зарождения и развития жизни, недостаточная изученность Вселенной дают основание предполагать, что аналогичные физико-химические процессы могут происходить и на других планетах. Возникают вопросы: «Возможно внесемная жизнь во Вселенной?», «Может быть повторен путь эволюции, который прошла Земля, на других планетах?» Кризис биосферы ставит вопрос о необходимости использования научно-технического потенциала человечества для поисков выхода из этой ситуации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розанов, А. Ю. История становления скелетных фаун / А. Ю. Розанов // Соросовск. образоват. журн. – 1996. – № 12. – С. 62–68.
2. Fossil diatoms in a new carbonaceous meteorite / N. C. Wickramasinghe [et al.] // Journal of Cosmology. – 2013. – Vol. 21, № 37. – P. 9560–9571.
3. Розанов, А. Ю. Проблема первичного биотопа эукариот. Экосистемные перестройки и эволюция биосферы / А. Ю. Розанов, М. А. Федонкин. – М. : Недра, 1994. – С. 25–32.



4. Марков, А. В. Проблема происхождения эукариот / А. В. Марков // Палеонтолог. журн. – 2005. – № 2. – С. 3–12.
5. Ediacaran metazoan reefs from the Nama Group, Namibia / A. M. Penny [et al.] // Science, 27 June 2014. – Vol. 344, № 6191. – P. 1504–1506.
6. Заварзин, Г. А. Содовые озера – природная модель древней биосферы континента / Г. А. Заварзин, Т. Н. Жилина // Природа. – 2000. – № 2. – С. 45–55.
7. Куприянова, Е. В. Карбоангидраза – фермент, преобразивший биосферу / Е. В. Куприянова, Н. А. Пронина // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 2. – С. 163–176.
8. Рудько, Г. І. Землелогія. Еколого-ресурсна безпека Землі / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко. – Київ : Академпрес, 2009. – 512 с.
9. Семенов, Ю. И. Происхождение человека в свете современных данных науки / Ю. И. Семенов // Вестн. АН СССР. – 1987. – № 7. – С. 120–130.
10. Реймес, Н. Ф. Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология / Н. Ф. Реймерс – М. : Россия молодая, 1992. – 367 с.
11. Степин, В. С. Эпоха перемен и сценарии будущего [Электронный ресурс] / В. С. Степин. – М. : Центр гуманитарных технологий, 1996. – Режим доступа: <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/5311>. – Дата доступа: 18.10.2015.
12. Тетиор, А. Н. Устойчивое развитие города / А. Н. Тетиор – М. : Комитет по телекоммуникациям и средствам массовой информации правительства Москвы, 1999. – 173 с.
13. Краснощеков, Г. П. Экология «в законе» (теоретические конструкции современной экологии в цитатах и афоризмах) / Г. П. Краснощеков, Г. С. Розенберг. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2002. – 248 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 01.10.2015

Rudko G.I. Scientific and Methodological Foundations of Biogeology

Biogeological history of the Earth was considered as a process of continuous transformation and permanent adaptation from original forms of life to its current state. The development of life on Earth arose under the conditions of changes in geological processes, chemical composition of the atmosphere and the aquatic environment during the periods between global catastrophes. As a result, more than 3.8 billion years were needed to form anthropogenic system «man–geological and adjacent environment», which transformed the biosphere according to human needs, creating a precedent of inconsistency between human needs and biosphere resources. The main scenarios of human and biosphere development were determined in the result of technogene. Scenarios of technogene progress and human role under conditions of intense transformation of the biosphere due to anthropogenic activities were investigated as well.



УДК 910.27

О.В. Токарчук¹, Е.В. Трофимчук²

¹канд. геогр. наук, доц., доц. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

²учитель географии Брестского областного лицея имени П.М. Машерова

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЭКОЛОГО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ АТЛАС БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

Реализована авторская концепция электронного атласа региона Беларуси для целей рационального использования и охраны поверхностных вод, основанная на бассейновом подходе; разработана структура и оформлены частные проекты региональной геоинформационной системы, на основе которой впервые скомпонован электронный эколого-гидрографический атлас Брестской области. Разработка может стать основой для дальнейшего изучения эколого-гидрологических проблем региона: при организации учебного процесса и научно-исследовательской работы студентов; в деятельности органов государственного управления в области природопользования и охраны окружающей среды; при организации научных исследований. Возможные области использования результатов – рациональное природопользование, охрана водных ресурсов, мониторинг окружающей среды.

Введение

Представляемый электронный эколого-гидрографический атлас Брестской области является результатом выполнения гранта БРФФИ (X13M-095). Объектом исследования является Брестская область Республики Беларусь.

Цель работы – создание электронного эколого-гидрографического атласа Брестской области посредством сбора, обработки, систематизации и оценки пространственных данных, характеризующих современное состояние и структуру гидрографической сети и бассейнового строения региона, а также наиболее важные с точки зрения формирования качества поверхностных вод аспекты природной, социально-экономической и экологической сред для получения обобщенной координатно-привязанной информации на региональном и локальном уровнях.

Методологической основой проведения работы является бассейновый подход, методической основой – геоинформационные технологии.

В ходе выполнения работы впервые для данного региона Беларуси разработана концепция электронного эколого-гидрографического атласа и сформирована его структура, обоснованы и выделены структуры гидрографической сети и бассейнового строения, создана электронная модель гидрографической карты, изучены и картированы геоэкологически значимые характеристики (основные природные средообразующие факторы и факторы антропогенной нагрузки) и создана их атрибутивная база данных в абсолютных и относительных (балльных) показателях в разрезе структур гидрографической сети и бассейнового строения, проведена группировка водосборов по преобладающим видам антропогенных воздействий и степени потенциальной экологической опасности, обоснованы и картированы адресные предложения по рациональному использованию и охране поверхностных вод, проведена компоновка атласа, изучены перспективы дальнейшего развития исследований и практического использования результатов [1–5].

Описание разработки

Электронный эколого-гидрографический атлас Брестской области скомпонован в среде MikTex 2.9 в формате pdf (рисунок 1). Для верстки атласа использовался шаб-



лон электронных учебно-методических комплексов, создаваемых в Брестском государственном университете имени А.С. Пушкина. Такой выбор обусловлен несколькими причинами. Во-первых, использование официального шаблона упрощает работу по созданию электронного продукта и одновременно с этим указывает на ведомственную принадлежность авторов и учреждение, где атлас планируется использовать. Во-вторых, данный формат является достаточно простым и весьма распространенным программным обеспечением. В-третьих, в данном формате существует четкое деление пособия на страницы (в отличие от формата html), в связи с чем можно ссылаться не только на определенный раздел атласа, но и на конкретную страницу. В-четвертых, создание атласа в данном формате дает возможность при необходимости использовать его (либо его части) и в печатном виде.

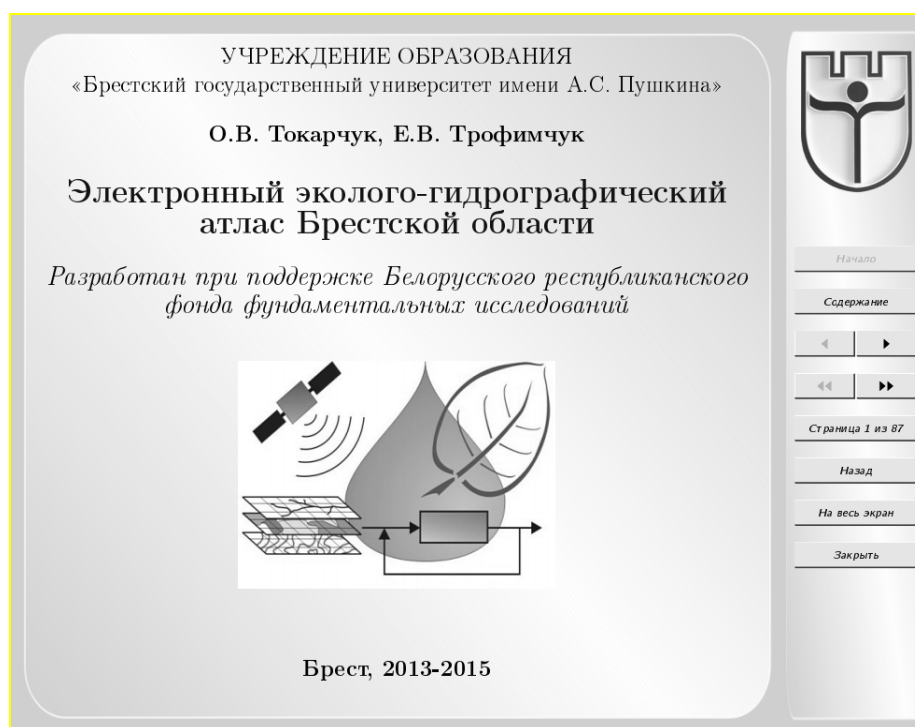


Рисунок 1. – Интерфейс программной оболочки электронного эколого-гидрографического атласа Брестской области

Навигационное поле программной оболочки представлено командами: «Начало» (приводит к отображению титульной страницы атласа); «Содержание» (приводит к отображению содержания атласа); «Вперед» и «Назад» (приводят к отображению следующей и предыдущей страниц); «Начало» и «Конец» (приводят к отображению первой и последней страниц); «Выбор страницы» (приводит к появлению контекстного меню для выбора номера страницы); «Назад» (приводит к отображению открытой ранее страницы); «На весь экран» (приводит к полноэкранному отображению страницы атласа); «Закреть» (приводит к закрытию атласа) (рисунок 1).

Атлас включает преимущественно картографический материал, различного типа (инвентаризационные, оценочные и синтетические карты) и уровня обработки. Основная содержательная часть атласа представлена пятью основными разделами (блоками): «Брестская область. Структуры гидрографической сети и бассейнового строения»; «Ос-



новные природные средообразующие факторы малых водосборов Брестской области»; «Основные факторы антропогенной нагрузки на малые водосборы Брестской области»; «Сравнительная геоэкологическая оценка малых водосборов. Эколого-гидрографическое районирование Брестской области»; «Направления рационального использования и охраны поверхностных вод».

Помимо основного содержания, атлас имеет вспомогательные разделы: «Пояснительная записка», «Концепция атласа», «Перспективы дальнейшей разработки и практического использования атласа», «Использованные источники», «Глоссарий».

Рассмотрим характерные особенности основных содержательных блоков атласа, а также особенности представленного здесь картографического материала.

Блок «Брестская область. Структуры гидрографической сети и бассейнового строения» представляют 7 карт. Общее представление о рельефе, гидрографии и крупнейших населенных пунктах области дает «Обзорная карта». Далее следует карта «Речные водосборы», отображающая важнейшие реки региона и их водосборные площади. Данная карта предваряет важнейшие результаты обоснования и выделения структур гидрографической сети и бассейнового строения региона, представленные на картах «Структуры гидрографической сети» и «Структуры бассейнового строения (малые водосборы)».

Карта «Структуры гидрографической сети» отображает порядки (2–5) и типы (естественная, искусственная) основных структур гидросети, представленные описываемыми в атласе структурами бассейнового строения. Основные структуры гидрографической сети даны на фоне других выделенных в ходе исследования структур, не представленных в атласе «рабочими» структурами бассейнового строения. Такая компоновка карты позволяет увидеть главные структуры, организующие сток воды с территории региона и представляющие больший интерес с точки зрения рационального использования и охраны поверхностных вод.

Карта «Структуры бассейнового строения (малые водосборы)» является ключевой картой атласа. Она раскрывает типологические единицы всего исследования – малые водосборы. В привязке к малым водосборам дается все последующее содержание эколого-гидрографического атласа (наложения на инвентаризационные карты природных средообразующих факторов и факторов антропогенной нагрузки, использованием в качестве основы для оценочных и синтетических карт). На карте отображены выделенные в ходе исследования два основных типа малых водосборов: частичные приречья (сочетают функции формирования и транзита стока воды) и частичные водосборы (выполняют стокоформирующую функцию) (рисунок 2). Особо выделен малый водосбор, не имеющий поверхностного стока, но характеризующийся ограниченным подземным стоком воды. Отдельно также показаны малые водосборы, формирование которых связано с антропогенным фактором (сток воды организуется по каналам). Карта сопровождается кратким описанием выделенных структур, представленным в табличной форме на отдельных листах атласа: отдельно для бассейнов Балтийского и Черного морей (дается полное название, тип структуры и ее обозначение на карте).

Далее следуют карты «Соотношение типов структур бассейнового строения речных водосборов» (раскрывает площадное соотношение частичных водосборов и частичных приречий в пределах 10 основных речных водосборов), «Количество структур бассейнового строения речных водосборов» (отображает типизацию основных речных водосборов по количеству их образующих малых водосборов). Карты представляют со-



бой пример ГИС-моделирования на основе разработанной в ходе исследования электронной модели гидрографической карты Брестской области.

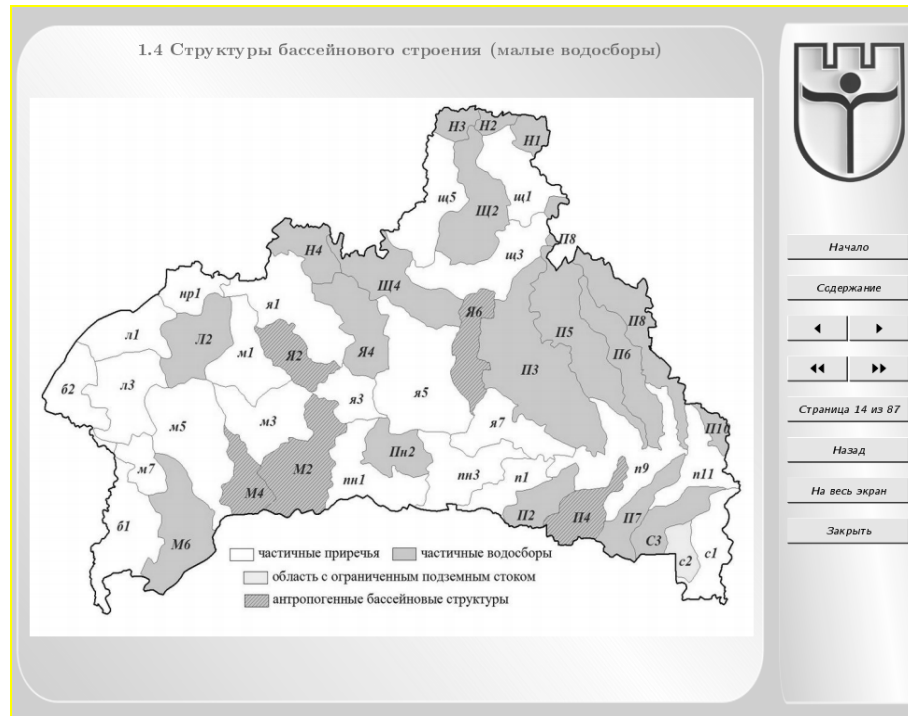


Рисунок 2. – Отображение карты «Структуры бассейнового строения (малые водосборы)» в электронном эколого-гидрографическом атласе Брестской области

Завершает блок карта «Соотношение малых водосборов и единиц административно-территориального управления», которая показывает административную принадлежность малых водосборов (относительно 16 административных районов области). Основные задачи карты – «привязать» процесс моделирования формирования стока к административным границам и показать «трансграничность» большинства структур бассейнового строения. Таким образом, карта является необходимой основой перехода от частного содержания атласа к его практическому использованию (принятие управленческих решений, разработка территориальных схем планирования и т.д.).

Блок «Основные природные средообразующие факторы малых водосборов Брестской области» представляют 15 карт. По особенностям создания все карты являются инвентаризационными и раскрывают территориальную неоднородность важных с точки зрения формирования стока воды природных характеристик региона. Карты, составляющие этот блок, по содержанию условно можно разделить на три группы: 1) геолого-геоморфологические карты, 2) карты климатических и гидрологических характеристик и 3) карты почвенно-растительного покрова.

Геолого-геоморфологические особенности региона представлены на 4 картах: «Дочетвертичные отложения», «Четвертичные отложения», «Горизонтальное расчленение рельефа», «Вертикальное расчленение рельефа». Первые 2 карты имеют подробные легенды. Следует отметить, что карты раскрывают значительную неоднородность литогенной основы региона в разрезе структур бассейнового строения и предоставляют возможность ее учета в процессе моделирования поверхностного стока воды.



Климатические и гидрологические характеристики региона представлены на 7 картах: «Годовые нормы температуры», «Годовые нормы осадков», «Высота снежного покрова», «Запасы воды в снеге», «Среднегодовой сток рек», «Максимальный сток рек», «Минимальный сток рек». Следует отметить, что, несмотря на относительно небольшие размеры, в пределах региона наблюдается неоднородность как метеорологических, так и гидрологических характеристик, обусловленная влиянием зональных (характеристики поступления солнечной радиации) и азональных (особенности рельефа и характер циркуляции атмосферы) факторов. Карты атласа дают возможность учета этих характеристик в процессе моделирования поверхностного стока воды в разрезе структур бассейнового строения.

Почвенно-растительный покров региона представлен на 4 картах: «Почвенный покров», «Леса», «Луга», «Болота», «Болота». Карты сопровождаются подробными легендами и раскрывают значительную неоднородность почвенно-растительного покрова в разрезе структур бассейнового строения.

Блок «Основные факторы антропогенной нагрузки на малые водосборы Брестской области» представляют 8 карт. По особенностям создания представленные карты являются инвентаризационными и синтетическими. Условно по содержанию карты блока можно разбить на две группы: карты населения и карты хозяйства.

Особенности размещения населения представлены на 2 картах: «Городские поселения» и «Сельские населенные пункты». Карты являются синтетическими, отражают географию населенных пунктов, а также количественные характеристики размещения населения в привязке к структурам гидрографической сети и бассейнового строения. Количество жителей в городских населенных пунктах региона показано методом естественных границ (приведены четыре градации по людности), в качестве дополнительной графической переменной при показе городов использован цвет (реализован «принцип светофора»). Карта «Сельские населенные пункты» помимо особенностей размещения сельских поселений отображает значительную неоднородность географии сельскохозяйственного освоения региона в разрезе структур бассейнового строения.

Особенности размещения хозяйства представлены на 6 картах: «Сельскохозяйственные земли», «Предприятия животноводства», «Промышленные центры», «Водозабор и использование вод», «Водоотведение», «Транспортная сеть». Представлены инвентаризационные и синтетические карты. Аграрно-индустриальный характер региона нашел отражение в последовательности карт атласа: вначале представлены карты, отражающие сельскохозяйственное освоение, после них расположена карта «Промышленные центры».

Инвентаризационными являются карты «Сельскохозяйственные земли», «Промышленные центры» и «Транспортная сеть». Они раскрывают значительную неоднородность основных направлений хозяйственного освоения региона (сельскохозяйственное, промышленное, транспортное) в разрезе структур бассейнового строения и предоставляют возможность ее учета в процессе моделирования условий формирования вод. Отчетливо прослеживаются малые водосборы, характеризующиеся однотипным характером хозяйственного освоения. Из карт также видно, что в пределах региона присутствуют водосборы, где преобладает одно направление хозяйственного освоения.

Синтетическими являются карты «Предприятия животноводства», «Водозабор и использование вод», «Водоотведение». Они соединяют несколько информационных слоев, позволяют сравнивать характеристики. Так, карта «Предприятия животноводства» отражает географию животноводческих комплексов региона в разрезе структур бас-



сейнового строения. Также показан уровень потенциальной угрозы от животноводческих комплексов, установленный в результате ГИС-анализа их близости к структурам гидросети (метод дистант) и расположения относительно типов грунтов по гранулометрическому составу.

Синтетические карты «Водозабор и использование вод» и «Водоотведение» отражают географию структур бассейнового строения относительно количественного фона общего водозабора, водозабора из поверхностных водных объектов, общего водоотведения, водоотведения в водные объекты в разрезе административных районов. Они раскрывают значительную территориальную неоднородность данных параметров и показывают направления управления объемами водозабора и водоотведения, профилактики истощения и загрязнения поверхностных вод.

Блок «Сравнительная геоэкологическая оценка малых водосборов. Эколого-гидрографическое районирование Брестской области» представляют 11 карт. По особенностям создания представленные карты являются оценочными. Условно по содержанию блок можно разбить на три части: оценка устойчивости малых водосборов, оценка антропогенной нагрузки на малые водосборы, оценка экологической опасности малых водосборов и эколого-гидрографическое районирование региона.

Оценка устойчивости малых водосборов представлена 5 картами, отражающими результаты равноинтервального ранжирования промежуточных показателей оценки (карты «Густота основной русловой сети», «Озерность малых водосборов», «Болотистость малых водосборов», «Лесистость малых водосборов», а также итоговой картой «Устойчивость малых водосборов», отражающей результаты равноинтервального ранжирования «суммы» промежуточных показателей, которая дополняется диаграммой «Структура показателей устойчивости малых водосборов»). Карты промежуточных показателей выполнены способом картограммы, итоговая карта – способом качественного фона.

Оценка антропогенной нагрузки на малые водосборы представлена 5 картами, отражающими результаты равноинтервального ранжирования промежуточных показателей оценки (карты «Доля городских территорий в пределах малых водосборов», «Доля территорий сельских населенных пунктов в пределах малых водосборов», «Распаханность малых водосборов», «Густота автомобильных дорог в пределах малых водосборов», а также итоговой картой «Антропогенная нагрузка на малые водосборы», отражающей результаты равноинтервального ранжирования «суммы» промежуточных показателей, которая дополняется диаграммой «Структура показателей антропогенной нагрузки на малые водосборы»).

Карты промежуточных показателей выполнены способом картограммы, итоговая карта – способом качественного фона. Следует отметить, что в качестве графической переменной при создании карт оценки устойчивости малых водосборов и антропогенной нагрузки на малые водосборы использовался соотносимый с картографируемым показателем цвет.

Итоговая оценка экологической опасности малых водосборов и эколого-гидрографическое районирование региона представлены общей картой «Сравнительная потенциальная экологическая опасность малых водосборов» (использованный «принцип светофора» отражает типы опасности малых водосборов), а также дополняющими ее матрицей типизации малых водосборов по степени экологической опасности (раскрывает алгоритм соотнесения характеристик устойчивости малых водосборов и антропогенной нагрузки на малые водосборы) и диаграммой «Соотношение малых водосборов,



характеризующихся различной степенью экологической опасности» (раскрывает количественное и площадное соотношение малых водосборов региона по типам сравнительной потенциальной экологической опасности).

Следует отметить, что весь блок предваряется принципиальной схемой сравнительной геоэкологической оценки малых водосборов и эколого-гидрологического районирования региона. Под районированием понимается объединение малых водосборов, однотипных по промежуточным или итоговым показателям оценки.

Блок «Направления рационального использования и охраны поверхностных вод» представляют 6 карт. Первая карта – «Соотношение лимитирующих факторов антропогенной нагрузки в пределах малых водосборов» – дает наглядное представление о значимости (в баллах предшествующей геоэкологической оценки) и сочетании основных факторов антропогенной нагрузки. В качестве лимитирующих показаны факторы, имеющие сравнительный балл оценки для региона 3 и выше. Карта дополняется таблицей «Направления снижения негативного воздействия лимитирующих факторов антропогенной нагрузки», в которой для каждого лимитирующего фактора приводятся уровень оценки, проблемная ситуация и рекомендуемые мероприятия.

Общее представление о сочетании лимитирующих факторов антропогенной нагрузки представлено на следующей карте – «Типизация малых водосборов по сочетанию лимитирующих факторов антропогенной нагрузки». Она дополняется диаграммой, отражающей соотношение числа и площадей малых водосборов, характеризующихся различными типами сочетаний лимитирующих факторов антропогенной нагрузки.

Далее следует карта «Количество лимитирующих факторов антропогенной нагрузки в пределах малых водосборов». Она дополняется таблицей, отражающей соотношение числа и площадей малых водосборов, характеризующихся различным количеством лимитирующих факторов антропогенной нагрузки. Следует отметить, что все описанные выше карты блока раскрывают значительную территориальную неоднородность лимитирующих факторов.

Далее следует карта «Рекомендации по оптимизации мониторинга качества вод малых водосборов», отражающая сеть существующих пунктов мониторинга (показан тип мониторинга) и рекомендуемые пункты комплексного мониторинга качества вод в замыкающих створах водосборов, характеризующихся «высокой» и «очень высокой» сравнительной потенциальной экологической опасностью и не обеспеченных действующими пунктами мониторинга. Карта дополняется таблицей «Рекомендуемые пункты комплексного мониторинга качества вод», которая раскрывает водный объект, географическую привязку и административный район рекомендуемых пунктов.

Далее следует карта «Водные объекты, сохранившие близкое к естественному состояние», на которой на фоне гидрографической сети и выделенных в ходе исследования структур гидрографической сети региона отражены ключевые озера и участки рек, требующие охраны.

Завершает раздел карта «Водные объекты, рекомендуемые к комплексной охране». На карте на фоне выделенных структур бассейнового строения отмечены озера и сохранившиеся в естественном состоянии участки рек, расположенные за пределами особо охраняемых природных территорий республиканского значения (данные территории также отмечены). Именно данные водные объекты (их части) требуют принятия первоочередных мер, направленных на комплексную охрану. Карта дополняется таблицами, отображающими название рекомендуемых к комплексной охране водных объектов, их географическую привязку, административную принадлежность и принадлеж-



ность к малому водосбору (водосборам). Следует отметить, что карты блока носят рекомендательный характер и требуют детализации рекомендуемых направлений рационального использования и охраны поверхностных вод.

Помимо основного содержания, атлас содержит вспомогательные разделы: «Пояснительная записка», «Концепция атласа», «Перспективы дальнейшей разработки и практического использования атласа», «Использованные источники», «Глоссарий».

Рассмотрим характерные особенности вспомогательных разделов атласа.

Раздел «Пояснительная записка» содержит краткие практические рекомендации по использованию атласа. Здесь содержатся описание команд навигационного поля, рекомендации по последовательности просмотра отдельных структурных частей (блоков) и карт атласа, раскрывается назначение других вспомогательных разделов атласа.

Раздел «Концепция атласа» раскрывает и поясняет цель создания атласа и решавшиеся в ходе его реализации задачи, их актуальность и новизну. Раскрываются связь атласа с разработанной в ходе его создания ГИС, а также научная идея (гипотеза) проведенного исследования, его новизна. Особое внимание в разделе уделяется краткому описанию этапов проведенного исследования. Завершает раздел описание научной значимости реализованной в ходе выполнения научно-исследовательской работы концепции электронного эколого-гидрографического атласа региона.

Раздел «Перспективы дальнейшей разработки и практического использования атласа» раскрывает основные направления улучшения содержательной и функциональной частей электронного эколого-гидрографического атласа Брестской области. Особое внимание уделяется описанию возможностей его практического применения:

- 1) при организации учебного процесса и научно-исследовательской работы студентов, обучающихся по географическим и природоохранным специальностям;
- 2) в деятельности органов государственного управления в области природопользования и охраны окружающей среды при разработке территориальных комплексных схем охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов;
- 3) в деятельности научных учреждений при проведении исследований по биосферно-совместимому природопользованию в ходе осуществления мониторинга природной среды, при разработке и реализации региональных проектов в сфере охраны природы.

В разделе «Использованные источники» приводятся основные источники (картографические, справочные, интернет-источники), материалы которых были использованы при разработке электронной модели гидрографической карты Брестской области и создании отдельных проектов ГИС «Эколого-гидрографическая характеристика Брестской области» (проекты «Природные средообразующие факторы», «Факторы антропогенной нагрузки», «Геоэкологическая оценка и эколого-гидрографическое районирование», «Направления рационального использования и охраны поверхностных вод») и последующей разработке содержания карт атласа.

Раздел «Глоссарий» содержит определения важнейших понятий атласа: «Электронный атлас», «Речной водосбор», «Гидрографическая сеть (гидросеть)», «Порядок структур гидросети», «Речной бассейн», «Бассейновое строение», «Малый водосбор», «Частичный водосбор», «Частичное приречье», «Устойчивость малых водосборов», «Антропогенная нагрузка на малые водосборы», «Потенциальная экологическая опасность малых водосборов», «Лимитирующий фактор антропогенной нагрузки», «Комплексный мониторинг качества вод», «Комплексная охрана водных объектов».



Заклучение

Представленный атлас внедрен в учебный процесс Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина в качестве электронного учебного издания. Он используется при изучении условий формирования поверхностных вод Брестской области, проблем рационального использования и охраны поверхностных вод региона, для популяризации бассейнового подхода к управлению водными ресурсами. Разработка может стать основой для дальнейшего изучения эколого-гидрологических проблем региона, в том числе при организации учебного процесса и научно-исследовательской работы студентов, в деятельности органов государственного управления в области природопользования и охраны окружающей среды, при организации научных исследований. Возможные области использования результатов – рациональное природопользование, охрана водных ресурсов, мониторинг окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Токарчук, О. В. Разработка концепции и формирование структуры электронного эколого-гидрографического атласа Брестской области / О. В. Токарчук // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2013. – № 2. – С. 94–99.
2. Токарчук, О. В. Оценка потенциала развития водного экотуризма территорий активного хозяйственного освоения (на примере Брестской области). Обоснование методики / О. В. Токарчук // Эко- и агротуризм: перспективы развития на локальных территориях : сб. науч. ст. / редкол.: В. И. Кочурко (гл. ред.), В. Н. Зуев (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Четыре четверти, 2013. – С. 218–229.
3. Токарчук, О. В. Опасные дожди как фактор формирования эколого-гидрологической обстановки региона (на примере Брестской области) / О. В. Токарчук // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций : сб. тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : КИИ, 2013. – С. 209.
4. Токарчук, С. М. Разработка и создание электронных экологических атласов / С. М. Токарчук, О. В. Токарчук // Актуальные проблемы экологии : материалы IX междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 23–25 окт. 2013 г. : в 2 ч. / ГрГУ имени Я. Купалы ; редкол.: И. Б. Заводник (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2013. – Ч. 2. – С. 181–183.
5. Токарчук, С. М. Методические основы создания региональных электронных эколого-географических атласов / С. М. Токарчук, О. В. Токарчук, Е. В. Трофимчук // Псков. регионолог. журн. – 2015. – № 22. – С. 95–110.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 12.10.2015

Tokarchuk O.V., Trofimchuk E.V. Electronic Ecological-Hydrographical Atlas of Brest Region

The project is realized author's concept of the electronic atlas region of Belarus for the purpose of sustainable use and protection of surface water based on basin approach. When performing work has been developed structure and created private projects regional information system on which first implemented electronic ecological and hydrographic atlas of the Brest region. Atlas may become the basis for further study of ecological and hydrological problems of the region, including in the educational process and research work of students, in of government activity in the field of nature use and environmental protection, the organization of scientific research. Possible areas of use of the results: environmental management, protection of water resources, environmental monitoring.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант X13M-095)



УДК 556.166.2

Т.А. Шелест

*канд. геогр. наук, старший преподаватель каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина*

ВЫДАЮЩИЕСЯ ДОЖДЕВЫЕ ПАВОДКИ НА РЕКАХ БЕЛАРУСИ

В статье рассмотрены условия и факторы формирования дождевых паводков на реках Беларуси. Описаны выдающиеся дождевые паводки, отмечаемые на реках страны за период инструментальных наблюдений, размер и масштабы причиненного ими ущерба. Проанализировано соотношение величин дождевых паводков и весенних половодий на реках страны.

Введение

Одним из самых опасных видов природных стихийных бедствий в мире стали наводнения. Они занимают первое место в ряду стихийных бедствий по повторяемости, охвату территорий и материальному ущербу. Несмотря на значительные капиталовложения в защитные мероприятия, ущербы от наводнений имеют тенденцию к росту. Основная причина этого – интенсивное освоение земель, для которых существует опасность наводнений, поскольку неосвоенных территорий хорошего качества практически не осталось.

На территории Беларуси также нередко отмечаются наводнения, которые формируются во время как весенних половодий, так и дождевых паводков. В средствах массовой информации и даже в научной литературе половодья, паводки и наводнения часто называются одним термином – «паводок», несмотря на то, что между этими явлениями имеются существенные отличия. Так, если половодья формируются ежегодно в один и тот же сезон (в условиях Беларуси весной) в результате снеготаяния и характеризуются, как правило, наибольшей водностью и длительным подъёмом уровня воды, то паводки не приурочены к какому-либо сезону, обычно более кратковременны, вызываются длительными и интенсивными дождями и ливнями (дождевые паводки), а зимой – таянием снега и льда на реках во время оттепелей, которое часто сопровождается выпадением осадков (зимние паводки). Наводнение – затопление территорий водой в результате подъёма уровня воды в реке или озере, которое причиняет материальный ущерб, наносит урон здоровью населения или приводит к гибели людей.

Цель настоящего исследования – анализ условий формирования выдающихся дождевых паводков, наблюдавшихся на реках Беларуси.

Для решения поставленной цели решались следующие задачи: оценить роль различных факторов в формировании дождевых паводков на реках страны; проанализировать условия формирования паводков в различные сезоны года; описать метеорологические условия формирования выдающихся дождевых паводков на реках Беларуси; проанализировать соотношение величин максимальных расходов воды дождевых паводков и весенних половодий.

Исходные данные и методика исследования

Исходными данными для исследования послужили материалы наблюдений Управления гидрометеорологической деятельности (ранее – Департамент по гидрометеорологии) Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, а также литературные и фондовые материалы различных специализированных организаций.



Инструментальные наблюдения за водным режимом на реках Беларуси ведутся с конца XIX в. Большая часть ныне действующих гидрологических постов была открыта в 20–30-е гг. XX в., что позволяет с достаточной степенью достоверности использовать многолетние ряды и оценивать различные гидрологические характеристики. Наиболее продолжительные ряды данных наблюдений за паводочным стоком имеются для крупных рек: Западная Двина (Витебск, с 1877 г.), Неман (Гродно, с 1878 г.), Березина (Борисов и Бобруйск), Припять (Мозырь, с 1881 г.), Днепр (Орша, с 1882 г.).

На многих реках наблюдения начали вестись только в послевоенный период. Количество гидрологических постов от начала наблюдений до настоящего времени постоянно изменялось. Общее количество постов, действующих в разное время на реках Беларуси, по которым имеются данные по характеристикам дождевых паводков, превышает 300. Продолжительность наблюдений по ним составляет от 1 до 135 лет.

При выполнении исследования рассматривались следующие данные: максимальные расходы воды дождевых и зимних паводков; среднесуточные расходы воды; суточные атмосферные осадки; среднесуточные температуры воздуха; максимальные расходы воды весенних половодий; гидрографические характеристики водосборов рек. При этом использовались данные за период от начала инструментальных наблюдений на реках до 2010 г. Отдельно рассматривались наибольшие единичные паводки в теплый период года и наибольшие дождевые или снежодождевые паводки в холодный период года. Под наибольшим понимается дождевой паводок, имеющий наиболее значительный максимальный расход воды среди всех паводков данного года (периода года). При выделении наибольших в году дождевых паводков за начало паводка принималась дата, предшествующая заметному подъёму кривой на гидрографе. За окончание паводка принималась дата, соответствующая расходу воды на спаде паводка, равному предпаводочному. В тех случаях, когда все расходы воды на спаде паводка были значительно больше предпаводочного расхода, на гидрографе строилась «типовая» кривая спада паводка, или кривая истощения стока, соответствующая характеру спада при отсутствии осадков в этот период. За дату окончания паводка принималась дата, соответствующая предпаводочному расходу, снятому с типовой кривой спада. Такое выделение границ паводка по «методу превышения» является формальным, т.е. начало и окончание паводка часто принимается условно [1].

Основные результаты и их обсуждение

Паводки на реках Беларуси бывают почти ежегодно и наблюдаются в разное время года. На дождевые паводки приходится в среднем 15–20% годового стока рек, в отдельные годы – 40% и более. Так, например, в 1988 г. на р. Уборть (д. Краснобережье, Лельчицкий р-н) объем дождевого паводка составил около 47% от годового стока, а в 1993 и 2007 гг. – около 38%. В 2005 г. на р. Березовка (д. Саутки, Шарковщинский р-н) объем паводка составил 42% от годового, на р. Улла (д. Бочейково, Бешенковичский р-н) – 33%.

В настоящее время еще нет общепринятых признаков и норм в отношении того, какие подъёмы воды следует считать паводками. При выборе и подсчетах паводков разными авторами принимаются разные подъёмы воды. В общем, к категории паводков относятся подъёмы воды в реках любой высоты (и большие, и малые). На реках с малыми амплитудами колебания уровней паводки, например, высотой 20 см, будут заметны, а на реках с большими амплитудами колебания уровней такие паводки могут и не приниматься во внимание. Нами в целях однородности анализа материала за паводок при-



нимались такие подъёмы воды, наибольшие расходы воды которых превышали средне-годовой расход данного года.

На рисунке 1 представлен типовой гидрограф рек Беларуси, который отражает общие черты внутригодового распределения стока.

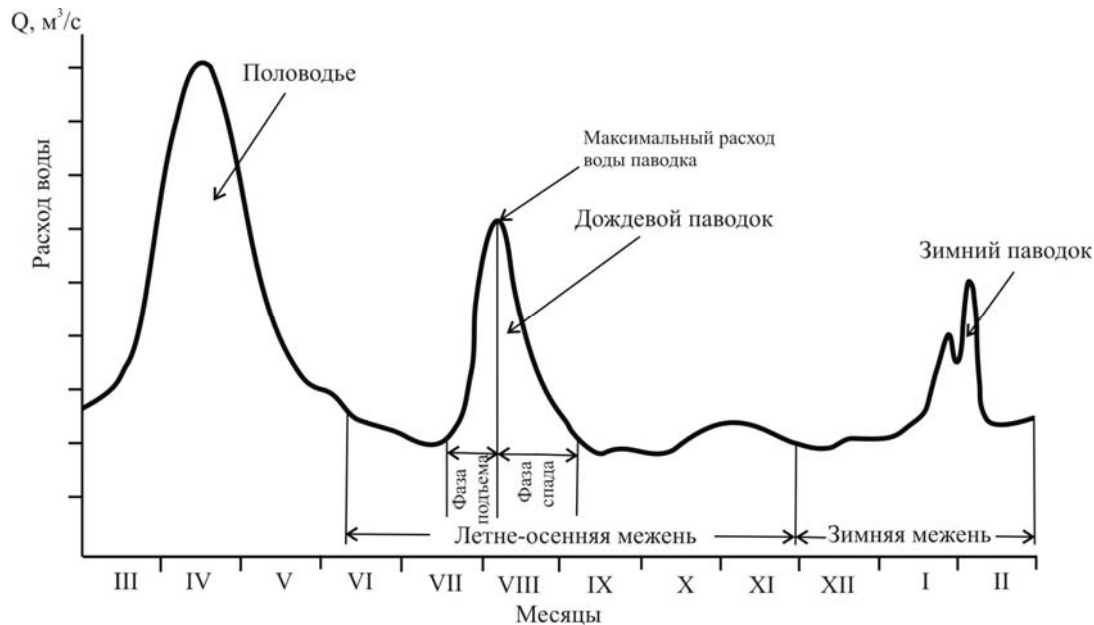


Рисунок 1. – Схема типового гидрографа рек Беларуси

Факторы формирования паводочного стока

Формирование паводков на реках происходит под влиянием большого числа различных факторов, как природных, так и антропогенных, встречающихся в сложных сочетаниях, неповторимых во времени и индивидуальных в каждом бассейне. Поэтому четко выявить роль каждого из них путем анализа гидрометрического материала практически невозможно. Действие отдельных факторов на сток обусловлено совокупностью остальных, т.е. физико-географическими и гидрологическими особенностями водосборов. В разных природных условиях одни и те же факторы могут влиять по-разному на сток как по величине, так и по направлению.

Все факторы паводочного стока можно разделить на две основные группы: метеорологические и гидрографические (факторы подстилающей поверхности).

Размеры паводков определяются в первую очередь *метеорологическими факторами*, главную роль среди которых играют стокообразующие осадки и предшествовавшие им метеорологические условия, сформировавшие влагозапасы бассейна. Эти факторы являются зональными, т.к. величина их определяется географическими координатами бассейна. Они характеризуют водообмен бассейна с атмосферой – приход (осадки) и расход (испарение) влаги.

Большая часть паводкообразующих осадков на территории Беларуси связана с циклонами, приходящими с запада, которые зарождаются над Атлантическим океаном на арктическом и полярном фронтах. Из общего годового количества осадков (в среднем 600–700 мм в год) 70–75% выпадает в теплый период года (с апреля по октябрь). Дожди и ливни с точки зрения эффективности образования стока делят на три типа:



- 1) ливни – короткие и интенсивные дожди продолжительностью до 2–4 часов и средней интенсивностью ($\geq 10\text{--}20$ мм/час);
- 2) ливневые дожди – продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток со средней интенсивностью ($\geq 2\text{--}10$ мм/час);
- 3) обложные дожди – продолжительностью как правило 3–5 суток и малой интенсивностью (< 2 мм/час).

Ливни отличаются большой пестротой и локальностью распределения, охватывая одновременно, как правило, небольшие площади. Благодаря небольшой площади охвата и резкому убыванию интенсивности от центра к периферии ливни могут вызвать значительные паводки лишь на малых водосборах.

Формирование паводков на реках Беларуси обычно происходит в результате выпадения продолжительных ливневых или обложных дождей. При этом паводки от обложных дождей значительно уступают паводкам от ливневых дождей. Это связано с тем, что при слабых, хотя и продолжительных дождях почва в состоянии поглощать всю воду, и значительные паводки не образуются. Если дожди следуют друг за другом в течение нескольких дней, например, в случае прохождения серии циклонов, то каждый последующий дождь будет более эффективным с точки зрения формирования стока, так как насыщенность бассейна влагой постепенно повышается.

Количество осадков, необходимое для формирования паводка на реках, зависит от площади и увлажненности водосбора, продолжительности и интенсивности осадков. Начальные потери стока образуются в связи с расходами воды на заполнение неровностей поверхности водосбора, инфильтрацию, испарение. В условиях сухих грунтов и большого испарения быстро происходят потери воды, поэтому даже большое количество осадков не всегда приводит к формированию дождевого паводка. Данные наблюдений показывают, что есть случаи, когда осадки в количестве более 80 мм за сутки не вызывали паводка на реках. И наоборот, в дождливую осень осадки в количестве менее 10 мм обращались в сток с минимальными потерями. При одинаковом количестве осадков в одних случаях может сформироваться значительный паводок, в других – паводка может и не быть.

Условия формирования паводков различаются в разные сезоны года [2]. Так, весенние паводки формируются в условиях, когда сохраняется еще повышенная водность за счет весеннего половодья при насыщенных влагой почвогрунтах. В этом случае выпадение даже относительно небольшого количества осадков может вызвать большие паводки. Подъем воды при прохождении дождей на спаде половодья или сразу после его окончания начинается в первый же день выпадения осадков. Общее количество осадков, приводящее к формированию весенних паводков, как правило, невелико. Суточные максимумы составляют около 20–30 мм.

Формирование летних паводков происходит обычно в результате выпадения ливневых дождей в условиях достаточно высоких температур, когда сохраняется повышенное испарение; почва в состоянии поглотить значительное количество воды. Однако, несмотря на большие потери, летние паводки в Беларуси встречаются довольно часто, что связано с преобладанием летних осадков. Осадки с суточным максимумом более 50 мм чаще отмечаются в июле и августе (около 34 и 26% соответственно), несколько реже – в июне (около 20%). Иногда за сутки может выпасть месячная и даже 1,5–2 месячная норма осадков. Большие летние паводки на реках формируются в случае выпадения серии дождей или при продолжительном дождливом периоде. Осадков за время паводка может выпасть до 150–200 мм.



Осенние паводки (в отличие от летних) характеризуются меньшей высотой, но большей продолжительностью. Они возникают из-за частых обложных дождей. Вследствие преобладания пасмурной погоды при снижении температуры воздуха испарение уменьшается. Количество осадков, необходимое для формирования паводка, не велико. Осенние паводки обычно уступают летним и весенним по величине максимального расхода.

Зимние паводки формируются во время оттепелей, когда происходит таяние снежного покрова и разрушение льда, нередко сопровождающиеся выпадением дождей. Зимние паводки чаще отмечаются в западных и юго-западных районах Беларуси. Величина, интенсивность и продолжительность подъема воды в паводке зависят от запасов воды в снежном покрове, интенсивности таяния снега, состояния погоды, степени увлажненности и глубины промерзания почвы. Когда снежная, с частыми оттепелями зима сменяется дождливой весной, зимний паводок переходит в весеннее половодье, как это было в 1990, 1992, 2000 гг. в южных районах страны.

Помимо *метеорологических факторов* формирование паводков определяется также и *гидрографическими факторами* (подстилающая поверхность), которые определяют инфильтрацию и скорость добега воды по склонам и русловой сети (т.е. время формирования паводка) [3]. Среди гидрографических факторов можно выделить азональные (морфометрические: площадь водосбора, длина реки) и интразональные. Интразональные факторы, в свою очередь, можно разделить на две группы: факторы склонового и руслового стока. К первым относятся залесенность, заболоченность, карст и др., способные повлиять на продолжительность и слой притока воды со склонов в русловую сеть. Среди факторов руслового стока следует прежде всего выделить озера, водохранилища и пруды, которые осуществляют трансформацию максимальных расходов за счет регулирующей призмы.

Условия формирования выдающихся дождевых паводков

Наиболее выдающиеся дождевые паводки на реках страны отмечались осенью 1974 г. (бассейн Западного Буга и верховья Припяти), весной 1975 г. (бассейн Припяти), летом 1993 и 1998 (бассейн Припяти) и 2007 гг. (реки Брестской области).

Один из катастрофических осенних паводков был в 1974 г. (рисунок 2). Формированию его способствовала следующая метеорологическая обстановка [4; 5]. В конце сентября и в октябре над Беларусью прошла серия циклонов. Начиная с третьей декады сентября, в течение октября, а также в первой декаде ноября выпало значительное количество осадков. Только за октябрь в ряде пунктов Брестской области выпало от 3 до 6,5 месячных норм осадков, интенсивность ливней 30–31 октября достигала 48 мм в сутки. Осадки, выпавшие за пять декад осеннего периода, составили 30% годовой суммы. Выпавшие осадки в конце сентября значительно увеличили запас общей влаги в почво-грунтах и повысили уровень грунтовых вод. Влагозапасы в пониженных местах достигали полной влагоемкости. Все это привело к задержке инфильтрации выпавших осадков, застаиванию воды на бессточных участках и увеличению стока дождевых вод в русла рек. В результате ряд дождевых паводков, последовательно наложившись друг на друга, образовали один общий подъем. Особенно значительными были паводки на реках Брестской области. На реках Мухавец и Горынь вода поднялась на 2,8 м. В условиях насыщения почвогрунтов до полной влагоемкости и застоя воды на поверхности, подъема и выхода грунтовых вод над поверхностью земли и разлива речных вод произошло слияние дождевых и речных вод, вызвавших образование большого



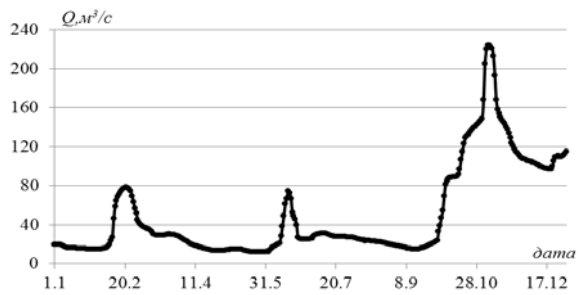
паводка, перешедшего в наводнение. Поймы рек подверглись почти четырехмесячному затоплению. В некоторых местах вода стояла до середины лета следующего года.

Весенний дождевой паводок 1975 г. в бассейне Припяти развивался стремительно (рисунок 2). На малых реках (Сколодина, Меречанка, Неслуха, Словечна) продолжительность подъема воды составила 1–4 дня. Также был резкий и спад. Формированию паводка предшествовала дождливая осень, теплая зима с близким к норме количеством осадков с частыми оттепелями, ранняя и теплая весна. Высшие уровни весеннего половодья были низкими, а на многих реках Полесья весеннее половодье вообще не наблюдалось и до начала апреля удерживались низкие уровни зимней межени. Значительные осадки с суточными максимумами до 40 мм, выпавшие в последней пятидневке марта и в апреле, вызвали подъемы уровня воды на реках и сформировали большой паводок. В июле 1975 г. на многих реках Полесья наблюдался еще один паводок, который по своим размерам на некоторых реках (Чертедь, Словечна, Сколодина, Меречанка, Оресса) приближался или практически равен весеннему. На остальных реках июньский паводок был заметно меньше весеннего, хотя по величине своего максимального расхода сопоставим с паводками высокой обеспеченности.

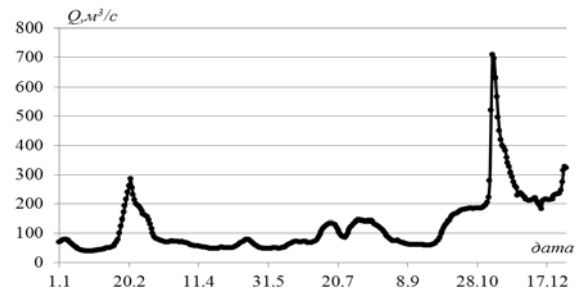
Формированию летнего паводка 1993 г. (рисунок 2) способствовало выпадение экстремального количества осадков [5–7]. В июле 1993 г. осадков выпало 1,5–2, а на юге страны 2,5–3 месячные нормы. И лишь на западе и юго-востоке осадков выпало в пределах нормы. Особенно дождливыми были вторая декада июля на территории Слуцкого и Любанского районов Минской области и третья декада в Столинском районе Брестской области. Здесь декадные суммы осадков превысили норму в 5–6 раз. В Житковичском и Столинском районах повышенное количество осадков выпало и в июне (около 1,5–2 месячных норм), а в июле осадки наблюдались в виде ливней редкой повторяемости. Суточный максимум 23 июля в Житковичском районе составил 57 мм, а в Столинском 115 мм. За сутки 24 июля на территории Столинского района выпало 67 мм осадков.

Лето было холодное. Водность рек, которая была низкой к началу летнего периода в результате выпадения частых и обильных дождей увеличилась и достигла средних многолетних значений, а в бассейне Припяти значительно превысила ее. Интенсивность подъема воды в сутки в середине июля составила 30–60 см. На условия формирования дождевого паводка оказали влияние и большие суммы осадков, выпавшие в Житомирской и Ровенской областях Украины. Начало подъема уровней воды на Припяти и её притоках отмечено 12–15 июля, а 23 и 24 июля осадки достигали опасных значений (70–120 мм), что привело к затоплению больших территорий. Выход воды на пойму произошел на реках Уборть (22 июля), Случь и Птичь (25 июля), Горынь (26 июля), Припять у д. Черничи (8–11 августа), а у г. Мозыря – 16–17 августа. Максимальные уровни дождевого паводка на малых реках сформировались уже 28–30 июля, на Горыни – 31 июля, а на Припяти – в середине августа. Наиболее высокие паводки сформировались на малых водотоках Столинского района и в бассейнах рек Горынь и Ствига. Превышение максимальных уровней паводка над меженными для Припяти составило около 3 м, на Горыни – 3,4 м, на малых водотоках 2,0–2,5 м.

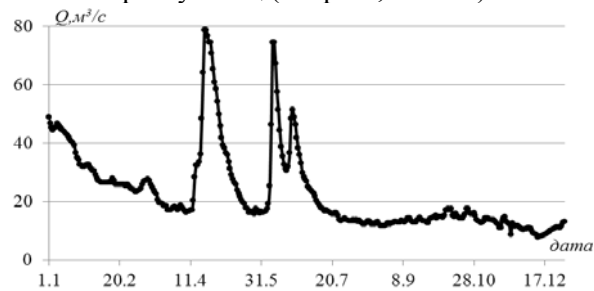
1998 г. характеризовался обильными осадками на протяжении всего года, в результате чего на многих реках страны формировались дождевые паводки с выходом воды на пойму, наибольшие отмечены в бассейне Припяти (рисунок 2).



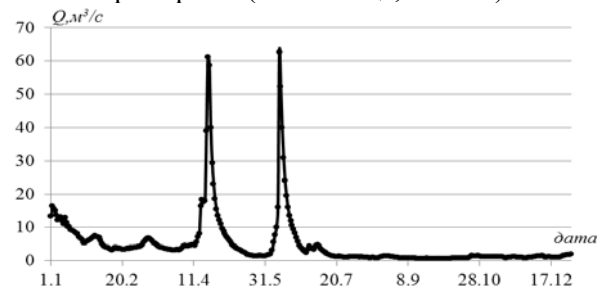
р. Мухавец (г. Брест, 1974 г.)



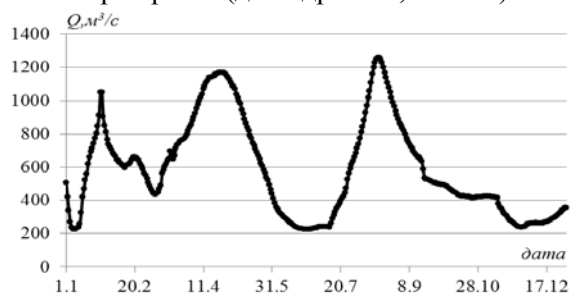
р. Горынь (г.п. Речица, 1974 г.)



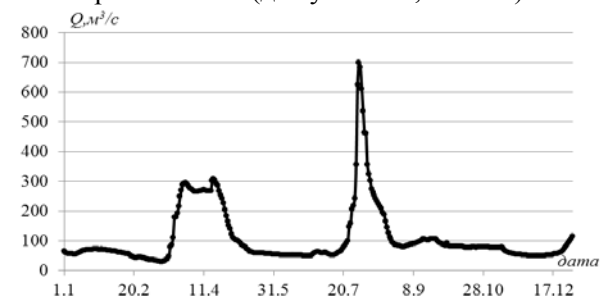
р. Оресса (д. Андреевка, 1975 г.)



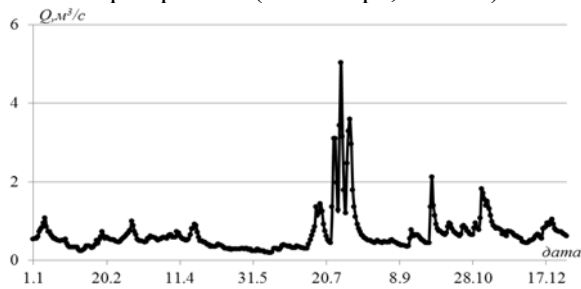
р. Словечна (д. Кузьмичи, 1975 г.)



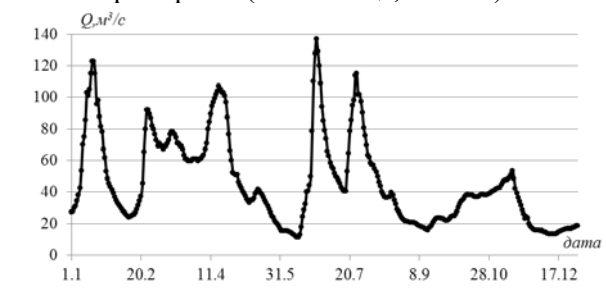
р. Припять (г. Мозырь, 1993 г.)



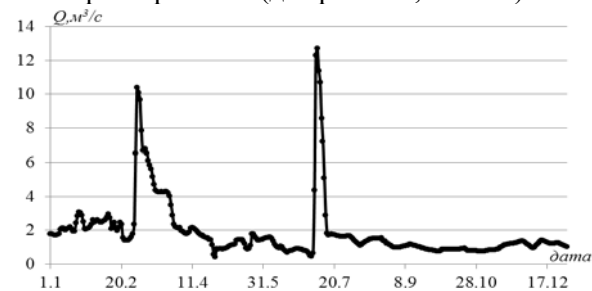
р. Горынь (г.п. Речица, 1993 г.)



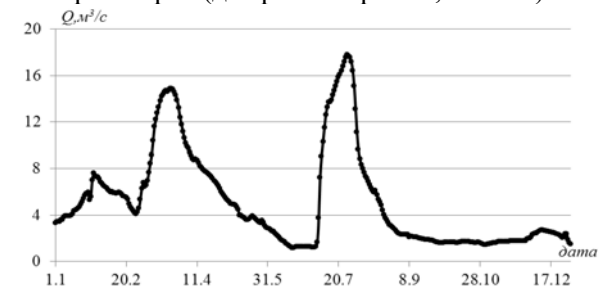
р. Меречанка (д. Красеево, 1998 г.)



р. Уборть (д. Красноебережье, 1998 г.)



р. Неслуха (д. Рудск, 2007 г.)



р. Цна (д. Дятловичи, 2007 г.)

Рисунок 2. – Гидрографы дождевых паводков рек Беларуси



В течение июня и июля на юге страны выпадали продолжительные и сильные дожди. Суточные максимумы осадков составили до 60 мм. Осадки выпадали на протяжении длительного периода, и каждый последующий дождь был более эффективным с точки зрения формирования стока, чем предыдущий.

Начавшиеся в июне дождевые паводки в бассейне Припяти вызвали максимальные уровни воды в конце июля на притоках, на самой Припяти – в середине августа. Повсеместно вода из русел вышла на пойму. Спад уровня воды начался во второй половине августа и продолжался до конца сентября. На большинстве рек вода вошла в русло и лишь на Припяти (Житковичский р-н), в нижнем течении рек Ясельда и Птичь вода оставалась на пойме. Прошедшие в конце сентября и начале октября ливневые дожди вновь вызвали подъём уровней воды на большинстве рек, а в Припятском районе снова отмечен выход воды на пойму [5].

Значительный паводок был в июле 2007 г. на реках Брестской области (рисунок 2). Причиной его послужили катастрофические осадки в первой декаде июля, поддержанные серией менее обильных, но выпадающих на переувлажненную почву дождей. За три дня (5–7 июля) в большинстве районов области выпало от 80 до 200 мм осадков (почти треть годовой нормы), а за 20 дней – 224 мм. Суточные максимумы осадков составили 50–80 мм. Обеспеченность осадков первой декады июля составила 1–2% и менее. Так, на Полесской станции 5 и 6 июля зарегистрирован абсолютный максимум количества осадков за сутки (81,2 мм и 86,3 мм) за весь период наблюдений. На метеостанции «Ганцевичи» максимальное количество осадков за сутки составило 106 мм.

К моменту выпадения осадков ситуация определялась предыдущим засушливым периодом, в результате которого уровни грунтовых вод находились на глубине 110–140 см и аккумулирующая емкость почвы была способна поглотить до 100 мм воды (исключение – Ивацевичский р-н, где в июне выпала полуторная норма осадков). Однако скорость инфильтрации осадков в почву замедлялась в связи с заземлением почвенного воздуха и слабой смачиваемостью верхнего сухого слоя торфа, в результате чего быстро образовался поверхностный сток и произошло затопление бессточных понижений на полях.

После промачивания торфа на большинстве территорий поверхностные воды ушли на подъём грунтовых вод. За 3–5 дней после выпадения дождей уровни грунтовых вод достигли в низовьях мелиоративных систем поверхности почвы. Выпавшие экстремальные суммы осадков способствовали росту уровней воды на реках и привели к длительному почвенному переувлажнению. На Горыни за несколько суток вода поднялась более чем на 2 м. Вследствие дискретности выпадения осадков и продвижением паводочной волны время наступления пика паводков на разных участках рек было различно.

Ущерб от паводков

Паводки нередко приносят бедствия в виде разрушения сооружений, затопления населенных пунктов, промышленных объектов и сельскохозяйственных угодий, приводят к человеческим жертвам. При этом размеры ущерба от паводков зависят от многих факторов: высоты и продолжительности стояния опасных уровней, площади затопления, быстроты подъема воды, своевременности принятия мер защиты.

Наиболее паводкоопасным регионом Беларуси является ее южная часть – Белорусское Полесье, что связано с особенностями строения данной территории. Территория Полесья представляет собой плоскую аллювиальную низину с чередованием от-



дельных гряд и обширных понижений. Долины рек широкие, неясно выраженные, с обширными низкими поймами, пологими склонами, незаметно переходящими в водораздельные пространства. Небольшие высоты местности (100–130 м), близкое залегание грунтовых вод и, как следствие, наличие заболоченных пространств, перенасыщенных влагой, а также отсутствие оттока воды из бессточных углублений в связи с малыми уклонами территории создают благоприятные условия для застоя воды. Поэтому паводки здесь наиболее опасны.

От паводка 1974 г. прямой ущерб в Полесской зоне составил 173 млн руб. в ценах 1991 г. [7]. В результате паводка под водой оказались 400 тыс. га земель, было повреждено и выведено из строя 640 км линий электропередач, без электроэнергии на длительный период остались 674 населенных пункта, 453 животноводческие фермы, было разрушено 246 км автомобильных дорог, затоплено 2 558 домов.

Значительный ущерб принёс летний паводок 1993 г. В зоне затоплений оказались более 10 тыс. домов, в которых проживали 40 тыс. человек, около 200 тыс. га посевов зерновых, более 30 тыс. га посевов картофеля и других культур, повреждено более 200 км автомобильных дорог, 10 мостов, 150 участков линий электропередач, были обесточены 400 населённых пунктов и 160 животноводческих ферм. Экономический ущерб в результате паводка (без учета экологического ущерба и затрат на нормализацию санитарно-эпидемиологической обстановки) в пострадавших районах составил более 200 млрд руб. в ценах 1993 г. [7].

Большой ущерб нанесен сельскому хозяйству и паводком 2007 г. Были затоплены посевы многих культур. Площадь погибших посевов составила почти 56 тыс. га. Особенно пострадали посевы ячменя, кукурузы, озимой ржи и тритикале, многолетних трав. Погибли посевы зерновых и зернобобовых культур. Стоимость ущерба, нанесенного сельскому хозяйству, составила около 41 млрд руб.

Пострадали также и личные хозяйства жителей, особенно посевы картофеля, овощей. Здесь стоимость ущерба составила 35 млн руб. Недобор в области составил около 290 тыс. т зерна, 25 тыс. т картофеля, 100 тыс. т сахарной свеклы, 700 тыс. т зеленой массы кукурузы.

Ущерб от дождевых паводков растут, что связано прежде всего с повышением хозяйственной ценности пойменных территорий из-за развития мелиоративных мероприятий, населенных пунктов, транспортной и коммуникационной инфраструктуры.

Соотношение величин дождевых паводков и весенних половодий

В связи с тем, что на реках Беларуси развиты и половодья, и паводки, большое научное и практическое значение приобретает вопрос о соотношении между ними. Для оценки соотношения величин максимальных расходов воды дождевых паводков и весенних половодий на реках Беларуси рассчитан коэффициент α как отношение ежегодных максимальных расходов воды дождевых паводков ($Q_{\text{д.пав.}}$) и весенних половодий ($Q_{\text{в.пол.}}$), а именно: $\alpha = Q_{\text{д.пав.}} / Q_{\text{в.пол.}}$.

В таблице представлены наибольшие наблюдаемые максимальные расходы воды дождевых паводков ($Q_{\text{д.пав.}}$) и весенних половодий ($Q_{\text{в.пол.}}$) за период инструментальных наблюдений на некоторых реках Беларуси, а также максимальные расходы воды 5%-й обеспеченности.



Таблица. – Соотношение величин максимальных расходов воды дождевых паводков и весенних половодий на реках Беларуси

Река – створ	Число лет наблюдений	Максимальные расходы воды, м ³ /сек					
		Наибольший наблюдаемый			5%-й		
		$Q_{д.пав.}$	$Q_{в.пол.}$	α	$Q_{д.пав.}$	$Q_{в.пол.}$	$\alpha_{5\%}$
Зап. Двина – г. Витебск	134	1 490	3 320	0,45	1 150	2 460	0,47
Улла – д. Бочейково	82	150	392	0,38	123	271	0,45
Полота – д. Янково	84	48	73,7	0,65	22,4	47,3	0,47
Нача – д. Нача	84	12,0	47,1	0,25	8,84	32,3	0,27
Дисна – п.г.т. Шарковщина	66	285	588	0,48	221	481	0,46
Неман – г. Гродно	133	723	3 410	0,21	580	1 740	0,33
Неман – г. Столбцы	89	145	652	0,22	100	490	0,20
Вилия – д. Михалишки	65	290	1 570	0,18	224	1 040	0,22
Котра – Сахкомбинат	65	87,8	278	0,32	42,3	141	0,30
Нарочь – д. Нарочь	66	76,4	266	0,29	53,8	200	0,27
Копаявка – д. Черск	62	19,1	20,7	0,92	8,12	19,1	0,43
Лесная – г. Каменец	65	63,4	201	0,32	39,3	134	0,29
Рыта – д. Мал. Радваничи	59	68,4	82,3	0,83	25,2	48,4	0,52
Днепр – г. Орша	129	713	2 000	0,36	493	1 550	0,32
Днепр – г. Могилев	80	733	2 360	0,31	494	1 630	0,30
Днепр – г. Жлобин	75	1 020	2 820	0,36	677	2 040	0,33
Днепр – г. Речица	116	1 230	4 970	0,25	801	4 170	0,19
Ухлясть – д. Радьков	81	22,5	96,4	0,23	15,9	49,9	0,32
Березина – г. Борисов	130	192	460	0,42	91,9	337	0,27
Березина – г. Бобруйск	130	499	2 430	0,21	321	1 440	0,22
Сож – г. Славгород	114	719	4 740	0,15	452	3 740	0,12
Сож – г. Гомель	111	1 020	6 600	0,15	498	5 060	0,10
Жадунька – г. Костюковичи	65	37,9	112	0,34	24,5	93,9	0,26
Беседь – д. Светиловичи	82	443	1 330	0,33	166	952	0,17
Проня – д. Летяги	75	351	986	0,36	217	947	0,23
Уза – д. Прибор	83	44,6	178	0,25	20,6	103	0,20
Припять – г. Мозырь	130	1 770	7 500	0,24	905	4 240	0,21
Припять – д. Чернич	80	1 150	3 990	0,29	718	3 150	0,23
Птичь – д. Лучицы	116	212	800	0,27	159	578	0,28
Оресса – д. Андреевка	85	78,8	301	0,26	63,5	191	0,33
Горынь – д. Мал. Викоровичи	89	1 150	2 910	0,40	766	1 880	0,41
Ясельда – д. Сенин	66	120	575	0,21	75,1	188	0,40
Уборть – д. Краснобережье	85	409	655	0,62	282	501	0,56

Анализ таблицы показывает, что на всех реках страны наибольшие выявленные, а также расчетные максимальные расходы воды дождевых паводков 5%-й обеспеченности примерно в 3–4 раза ниже наибольших расходов воды весенних половодий. Однако случаи превышения половодий дождевыми паводками в отдельные годы нередки и отмечаются на всех реках страны.

Превышение паводков над половодьями в бассейне Зап. Двины и Немана происходит примерно в 10% случаев, особенно часто – в бассейне Вилии, сток которой существенно преобразован в результате ввода в эксплуатацию в 1976 г. Вилейско-Минской водной системы, предусматривающей переброску воды из р. Вилия в р. Свислочь.



На востоке страны, в бассейне Днепра, превышение максимальных расходов воды дождевых паводков над максимумами весенних половодий наблюдается крайне редко – лишь в 6% случаев, особенно редко на левобережных притоках, где на некоторых из них (реки Сож, Остер, Беседь, Жадунька) отмечен единичный случай превышения (1974 г.).

Превышение половодий паводками в бассейне Припяти происходит чаще, чем на других водосборах страны – в среднем в 16% случаев. Особенно часто это наблюдается на реках Ясельда, Лань, сток которых зарегулирован водохранилищами (Селец, Локтыши). На реках бассейна Зап. Буга дождевые паводки превысили половодья или были примерно равны им в 18% случаев.

Превышение половодий дождевыми паводками происходит как при очень высоких паводках (как это было в 1952 и 1974 гг. на многих реках страны, и в 1975, 1993, 1998 гг. в бассейне Припяти), так и при невысоких паводках, но в условиях невысоких половодий (1990, 1997 гг.). Так, дождевые паводки 1982 и 1988 гг. на р. Цна (д. Дятловичи) равны по величине максимального расхода. Однако в 1988 г. дождевой паводок превзошел половодье, а в 1982 г. половодье было выше паводка. Это обусловлено разной величиной половодья: в 1982 г. оно соответствовало обеспеченности 23%, а в 1988 г. – лишь 74%.

Выполненные исследования показали, что максимальные расходы воды высоких весенних половодий не могут быть превышены дождевыми паводками. Причина этого – различная природа их формирования. Так, весенние половодья формируются в результате таяния снега, который накапливался всю зиму. Благоприятными факторами для формирования высоких весенних половодий являются: выпадение снега на хорошо увлажненные почвогрунты, глубокая промерзаемость их в течение зимы, большие запасы воды в снеге к началу снеготаяния, дружное и интенсивное снеготаяние, отсутствие оттепелей, выпадение жидких осадков во время снеготаяния и др. При благоприятном сочетании всех этих факторов на реках формируются высокие весенние половодья. Дождевые же паводки формируются в результате выпадения дождей. И даже при самом благоприятном сочетании факторов формирования высокого дождевого стока (высокое предшествующее увлажнение, большая интенсивность и продолжительность осадков, большая площадь одновременного охвата дождем и др.) дождевые паводки на реках не могут достигать таких масштабов, как весенние половодья. Поэтому можно утверждать: чем больше величина весенних половодий, тем меньше вероятность того, что они будут превышены дождевыми паводками, а наиболее высокие половодья не могут быть превышены самыми большими дождевыми паводками. Однако в последние десятилетия в результате потепления климата частота оттепелей увеличилась, что явилось одной из причин снижения максимумов половодий практически на всех реках страны. Увеличилась также и частота превышения максимальных расходов воды половодий дождевыми паводками.

Формирование годовых максимумов во время дождевых паводков чаще происходит на небольших реках. На больших реках максимальные расходы воды высоких дождевых паводков могут превышать лишь максимумы невысоких половодий. Это обусловлено тем, что подьёмы воды на больших реках во многом зависят от подьёмов воды на притоках. А снеготаяние охватывает обычно большие площади и подьём воды начинается на всех реках одновременно, в результате чего на больших реках половодья могут достигать значительной величины. Дождевые же паводки редко охватывают огромные территории, так как имеет место редукция дождя с увеличением площади



бассейна. И формирование высоких паводков на больших реках, сопоставимых по величине с половодьями редкой обеспеченности, не возможно.

Заклучение

Формирование высоких дождевых паводков на реках Беларуси может наблюдаться во все сезоны года. Наиболее благоприятные условия для формирования дождевых паводков наблюдаются после весеннего снеготаяния, когда почва увлажнена до состояния наименьшей влагоемкости и выпадение относительно небольшого количества осадков может вызвать большие паводки. Летом, когда почва иссушается испарением и транспирацией и способна интенсивно поглощать воду, формирование больших паводков происходит в случае выпадения серии дождей или при продолжительном дождливом периоде. Осенью вследствие уменьшения испарения в условиях пониженной инфильтрационной способности дождевые паводки обычно формируются в результате выпадения частых обложных дождей.

Анализ метеорологических условий формирования наиболее выдающихся дождевых паводков на реках страны показал, что образование их происходит при выпадении значительного количества осадков на большой площади территории на протяжении достаточно длительного периода, часто в условиях повышенной увлажненности предшествующего периода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Ч. 1, 2. Основные гидрологические характеристики. – Л. : Гидрометеиздат, 1966. – 720 с.
2. Логинов, В. Ф. Анализ и моделирование гидрографов дождевых паводков рек Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Т. А. Шелест // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42, № 3. – С. 268–278.
3. Волчек, А. А. Влияние гидрографических факторов на величину дождевых паводков рек Беларуси / А. А. Волчек, Т. А. Шелест // Мелиорация. – 2010. – № 1 (63). – С. 36–48.
4. Нежиховский, Р. А. Наводнения на реках и озерах / Р. А. Нежиховский. – Л. : Гидрометеиздат, 1988. – 184 с.
5. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. центр БГУ, 2002. – 440 с.
6. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси : справочник / Мин-во природных ресурсов и охраны окр. среды Респ. Беларусь / под общ. ред. М. А. Гольберга. – Минск : Белорус. науч.-исслед. центр «Экология», 2002. – 132 с.
7. Азява, Г. В. Защита от паводковых наводнений в Белорусском Полесье. Состояние и перспектива / Г. В. Азява, В. В. Аземша // Белорусское Полесье : сб. науч.-практ. ст. – Пинск : Фонд «Белорусское Полесье», 2001. – Вып. 1. – С. 49–51.

Рукапіс пасткпіў у рэдакцыю 18.09.2015

Shelest T.A. Outstanding Rainfall Floods on the Rivers of Belarus

The article deals the conditions and factors of formation of rainfall floods on the rivers of Belarus. Outstanding rainfall floods, observed on the rivers of the country over the period of instrumental observations, the size and scale of the damage caused have been described. Assessment of a ratio of size of the maximum discharges of rainfall floods water and spring high waters of the rivers in the country has been given.



С.М. Ленивко

канд. биол. наук, доц., зав. каф. зоологии и генетики
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

К 80-ЛЕТИЮ ВАСИЛИЯ ЕМЕЛЬЯНОВИЧА ГАЙДУКА

12 февраля 2016 года исполняется 80 лет со дня рождения и 50 лет научно-педагогической деятельности профессора кафедры зоологии и генетики БрГУ имени А.С. Пушкина, доктора биологических наук, профессора Василия Емельяновича Гайдука, известного белорусского ученого-зоолога, члена редакционного совета сборника научных трудов «Вучоныя запіскі Брэсцкага ўніверсітэта». Талант ученого и педагога сочетается у Василия Емельяновича с широкой эрудицией и доброжелательностью, что принесло ему признание и уважение не только коллег, но и многочисленных студентов.



Василию Емельяновичу Гайдуку – доктору биологических наук, профессору, широко известному в Республике Беларусь и за ее пределами исследователю в области териологии, орнитологии, биоритмологии и экологии животных 12 февраля 2016 г. исполняется 80 лет.

В БрГУ имени А.С. Пушкина В.Е. Гайдук работает с 1966 г. Он прошел путь от старшего преподавателя до заведующего кафедрой, а с 1995 г. по настоящее время работает профессором кафедры зоологии и генетики биологического факультета.

Труд В.Е. Гайдука неоднократно был отмечен грамотами, Почетными грамотами Министерства высшего и среднего специального образования БССР, Министерства народного образования Белорусской ССР.

В.Е. Гайдук родился в 1936 г. в д. Белица Березинского района Минской области в многодетной семье. Через всю жизнь он пронес воспоминания о тяжелых и голодных военных и послевоенных годах, которые ему, как и другим жителям нашей страны, пришлось стойко пережить. Выпавшие на его долю испытания способствовали формированию жизненной силы и выносливости – качеств, которые определили характер будущего ученого. Родители воспитывали детей (в семье их было девять) в атмосфере добра и любви, приучали к труду и порядочности, прививали честность и справедливость. Уже в детстве Василий подружился с природой – увлекся рыбалкой и охотой.

В 1954 г. он окончил Ляжинскую среднюю школу. Высшее образование получил на биологическом факультете Белорусского государственного университета, который окончил в 1961 г. по специальности «Зоология» с присвоением квалификации биолог-зоолог, учитель биологии и химии. Василий Емельянович гордится своими учителями и однокурсниками, с которыми на протяжении многих лет после окончания университета поддерживал близкие отношения. Во время обучения в университете он любил играть в шахматы, увлекся классической музыкой.

На протяжении двух лет (1961–1963 гг.) Василий Емельянович работал учителем биологии и химии в Клецкой средней школе (Минская область). В 1963 г. он поступил в аспирантуру при Белорусском государственном университете, после окончания кото-



рой в 1966 г. был направлен на работу в Брестский государственный педагогический институт имени А.С. Пушкина, где приступил к работе в должности старшего преподавателя кафедры зоологии. В 1970 г. он защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук «Эколого-систематическое исследование зайцев Беларуси», а год спустя Василию Емельяновичу было присвоено ученое звание доцента. С 1972 по 1984 гг. и с 1989 по 1995 гг. работал доцентом кафедры зоологии факультета естествознания, а в 1984–1989 гг. возглавлял ее. С 1995 г. и по настоящее время В.Е. Гайдук – профессор кафедры зоологии и генетики биологического факультета.



Молодой ученый и завзятый охотник

Докторскую диссертацию «Сравнительный анализ биоритмов доминирующих видов млекопитающих Беларуси» В.Е. Гайдук защитил в Петрозаводском университете (Россия) в 1998 г., а ученое звание «профессор» ВАК Беларуси присвоила ему в 2005 г.

Василий Емельянович – известный и признанный ученый в области зоологии и биоритмологии. Им проведено глубокое и всестороннее изучение биоритмов млекопитающих (на примере модельных видов: обыкновенной белки, зайца-русака, зайца-беляка, ласки, горностая, благородного оленя, косули и др.) для целей сохранения их биологического разнообразия. Были изучены основные параметры сезонных и многолетних ритмов (смена волосяного покрова и его окраски, репродукция, динамика численности) видов, которые ведут различный образ жизни. Были установлены закономерности хронологической и хорологической изменчивости линьки, смены окраски волосяного покрова и размножения. Предложенные им методы прогноза сроков промысла и добычи нашли широкое практическое применение в охотничьем хозяйстве Республики Беларусь и за ее пределами.

В 1998–2014 гг. В.Е. Гайдук являлся руководителем ряда заданий в рамках государственных программ научных исследований, среди которых «Редкие и исчезающие наземные позвоночные, пауки и насекомые юго-запада Беларуси». Талантливый ученый, В.Е. Гайдук внес значительный вклад в изучение биологического разнообразия региона, что нашло отражение в многочисленных работах. Он автор более 300 научных,



научно-популярных публикаций, в том числе ряда монографий: «Популяционная экология мелких млекопитающих юго-западной и центральной Беларуси» (2004, в соавт.); «Годовые и многолетние биоритмы млекопитающих Беларуси» (2005); «Морфофизиологическая изменчивость фоновых видов мелких млекопитающих Беларуси» (2007, в соавт.), «Экология птиц юго-запада Беларуси. Неворобынообразные» (2009, в соавт.); «Экология птиц юго-запада Беларуси. Воробынообразные» (2013, в соавт.); «Кадастр позвоночных животных биосферного резервата “Прибужское Полесье” (белорусский сектор трансграничного биосферного резервата “Западное Полесье”)» (2014, в соавт.). Им было подготовлено несколько учебно-методических пособий для студентов биологического факультета: «Основы биоритмологии» (2003); «История биологии» (2008); «Теория эволюции» (2010, в соавт.).

На протяжении полувека Василий Емельянович преподает в университете: читает лекции по дисциплинам «Зоология позвоночных», «История биологии», «Биология промыслово-охотничьих животных», «Основы биоритмологии», «Экология животных» для студентов биологического факультета, проводит полевые практики по зоологии позвоночных, руководит написанием курсовых и дипломных работ, магистерских диссертаций. Богатый опыт экспедиций и путешествий, широкий кругозор, аскетическое отношение к комфорту и бытовым условиям, умение налаживать контакты, широкая география профессиональных связей позволили Василию Емельяновичу закрепить традицию выездных учебных практик студентов. Он увлекательный рассказчик, который в доступной и понятной форме стремится передать свой опыт и свои знания новым поколениям биологов и географов – будущим учителям и исследователям природы.

Значительную часть своего времени Василий Емельянович уделяет пропаганде научных знаний: был активным лектором общества «Знание», выступал на методических объединениях учителей-биологов школ г. Бреста и Брестского района. Он участвовал в работе многих (более 80) региональных, республиканских, всесоюзных и международных конференций и совещаний, в том числе Первого териологического (Москва, 1974 г.) и XIV генетического (Москва, 1978 г.) конгрессов, где выступал с докладами. До сих пор В.Е. Гайдук активно поддерживает научные контакты с отечественными и зарубежными коллегами, принимает участие в организации и проведении научно-практических конференций на кафедре: он организатор международных научных конференций «Фауна и флора Прибужья и смежных территорий на рубеже XXI столетия» (2000 г.) и «Биологические ритмы» (1999, 2012 гг.).

Широкий круг научных интересов принес В.Е. Гайдуку признание среди ученых. Являясь одним из ведущих специалистов в области экологии и зоологии, он в течение ряда лет был членом Совета по экологии Министерства образования Республики Беларусь, Научно-технического совета Национального парка «Беловежская пуща», оппонентом по 12 кандидатским и 3 докторским диссертациям. В настоящее время Василий Емельянович входит в состав редколлегии научно-теоретического журнала «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта» и редакционного совета сборника научных трудов «Вучоныя запіскі Брэсцкага ўніверсітэта».

Василий Емельянович – человек широкой эрудиции и большого трудолюбия, путешественник и романтик – является образцом для коллег, студентов и многочисленных выпускников нашего университета.

Поздравляем Василия Емельяновича с юбилеем и искренне желаем крепкого здоровья, долголетия, благополучия, дальнейших творческих успехов в науке и педагогической деятельности!

Да ведама аўтараў

Рэдкалегія часопіса разглядае рукапісы толькі тых артыкулаў, якія адпавядаюць навуковаму профілю выдання, нідзе не апублікаваныя і не перададзеныя ў іншыя рэдакцыі.

Матэрыялы прадстаўляюцца на беларускай ці рускай мове ў двух экзэмплярах аб'ёмам ад 0,35 да 0,5 друкаванага аркуша, у электронным варыянце – у фармаце Microsoft Word for Windows (*.doc; *.rtf) і павінны быць аформлены ў адпаведнасці з наступнымі патрабаваннямі:

- папера фармата А4 (21×29,7 см);
- палі: зверху – 2,8 см, справа, знізу, злева – 2,5 см;
- шрыфт – гарнітура Times New Roman;
- кегль – 12 pt.;
- міжрадковы інтэрвал – адзінары;
- двукоссе парнае «...»;
- абзац: водступ першага радка 1,25 см;
- выраўноўванне тэксту па шырыні.

Максімальныя лінейныя памеры табліц і малюнкаў не павінны перавышаць 15×23 см або 23×15 см. Усе графічныя аб'екты, якія ўваходзяць у склад аднаго малюнка, павінны быць згрупаваны паміж сабой. Фатаграфіі ў друк не прымаюцца. Размернасць усіх велічынь, якія выкарыстоўваюцца ў тэксце, павінна адпавядаць Міжнароднай сістэме адзінак вымярэння (СВ). Пажадана пазбягаць скарачэнняў слоў, акрамя агульнапрынятых. Спіс літаратуры павінен быць аформлены паводле Інструкцыі па афармленні дысертацыі, аўтарэферата і публікацый па тэме дысертацыі, зацверджанай пастановай Прэзідыума Дзяржаўнага вышэйшага атэстацыйнага камітэта Рэспублікі Беларусь ад 24.12.1997 № 178 (у рэдакцыі пастановаў Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 22.02.2006 № 2, ад 15.08.2007 № 4). Спасылкі на крыніцы ў артыкуле нумаруюцца адпаведна парадку цытавання. Парадкавыя нумары спасылак падаюцца ў квадратных дужках (напрыклад, [1, с. 32], [2, с. 52–54]). Не дапускаецца выкарыстанне канцавых зносак.

Матэрыял уключае наступныя элементы па парадку:

- індэкс УДК (выраўноўванне па левым краі);
- ініцыялы і прозвішча аўтара (аўтараў) (выдзяляюцца паўтлустым шрыфтам і курсівам; выраўноўванне па левым краі);
- назва артыкула (друкуецца вялікімі літарамі без пераносаў; выраўноўванне па левым краі);
- анатацыя ў аб'ёме ад 100 да 150 слоў на мове артыкула (кегль – 10 pt.);
- звесткі аб навуковым кіраўніку (для аспірантаў і саіскальнікаў) указваюцца на першай старонцы артыкула ўнізе;

➤ асноўны тэкст, структураваны ў адпаведнасці з патрабаваннямі ВАК да навуковых артыкулаў, якія друкуюцца ў выданнях, уключаных у Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў (Уводзіны з пастаўленымі мэтай і задачамі; Асноўная частка, тэкст якой структуруецца падзаглаўкамі (назва раздзела «Асноўная частка» не друкуецца); Заключэнне, у якім сцісла сфармуляваны асноўныя вынікі даследавання, указана іх навізна);

- спіс літаратуры;
- рэзюмэ на англійскай мове (да 10 радкоў, кегль – 10 pt.): назва артыкула, прозвішча і ініцыялы аўтара/аўтараў, тэзісны пераказ зместу артыкула; у выпадку, калі аўтар падае матэрыял на англійскай мове, рэзюмэ – на рускай ці беларускай.

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- звесткі пра аўтара на беларускай мове (прозвішча, імя, імя па бацьку поўнаасцю, вучоная ступень і званне, месца працы (вучобы) і пасада, паштовы і электронны адрасы для перапіскі і кантактныя тэлефоны);
- выписка з пратакола пасяджэння кафедры, навуковай лабараторыі ці ўстановы адукацыі, дзе працуе/вучыцца аўтар, завераная пячаткаю, з рэкамендацыяй артыкула да друку;
- рэцэнзія знешняга ў адносінах да аўтара профільнага спецыяліста з вучонай ступенню, завераная пячаткаю;
- экспертнае заключэнне (для аспірантаў і дактарантаў).

Рукапісы, аформленыя не ў адпаведнасці з выкладзенымі правіламі, рэдкалегіяй не разглядаюцца.

Аўтары нясуць адказнасць за змест прадстаўленага матэрыялу.

Карэктары *А.В. Дзябёлая, Л.М. Калілец*
Камп'ютарнае макетаванне *С.М. Мініч, Г.Ю. Пархац*

Падпісана ў друк 05.02.2016. Фармат 60×84/8. Папера афсетная.
Гарнітура Таймс. Рызаграфія. Ум. друк. арк. 16,97. Ул.-выд. арк. 13,08.

Тыраж 100 экз. Заказ № 19.

Выдавец і паліграфічнае выкананне: УА «Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт імя А.С. Пушкіна».

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі № 1/55 ад 14.10.2013.

ЛП № 02330/454 ад 30.12.2013.

224016, г. Брэст, вул. Міцкевіча, 28.

Таблица 1. – Распространение и относительная численность рыбообразных водоемов юго-западной Беларуси

Отряд, семейство, вид	Реки в бассейнах			Озера в бассейнах			Пруды
	Припяти	З. Буга	Щары	Припяти	З. Буга	Щары	
1	2	3	4	5	6	7	8
Отр. Многообразные <i>Petromyzontiformes</i> Семейство <i>Petromyzonidae</i>							
1. Ручьевая минога <i>Lampetra planeri</i>	—	х	х	—	—	—	—
2. Украинская минога <i>Eudontomyzon mariae</i>	х	—	х	—	—	—	—
Отр. Осетрообразные <i>Acipenseriformes</i> Семейство Осетровые <i>Acipenseridae</i>							
3. Стерлядь <i>Acipenser ruthenus</i>	х	—	—	—	—	—	А
Отряд Лососеобразные <i>Salmoniformes</i> Семейство Хариусовые <i>Thymallidae</i>							
4. Обыкновенный хариус <i>Thymallus thymallus</i>	—	—	х	—	—	—	—
Семейство Лососевые <i>Salmonidae</i>							
5. Ручьевая форель <i>Salmo trutta</i>	—	—	х	—	—	—	—
6. Радужная форель <i>Parasalmo mykiss</i>	—	—	—	—	—	—	А
Отряд Щукообразные <i>Esociformes</i> Семейство Щуковые <i>Esocidae</i>							
7. Обыкновенная щука <i>Esox lucius</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xx
Отряд Угреобразные <i>Anguilliformes</i> Семейство Речные угри <i>Anguillidae</i>							
8. Речной угорь <i>Anguilla anguilla</i>	—	х	х	—	х	х	—
Отряд Карпообразные <i>Cypriniformes</i> Семейство Карповые <i>Cyprinidae</i>							
9. Синец <i>Abramis ballerus</i>	х	—	—	—	—	—	—
10. Лещ <i>Abramis brama</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xx
11. Белоглазка <i>Abramis sapo</i>	х	—	—	—	—	—	—
12. Быстрянка <i>Alburnoides bipunctatus</i>	х	х	х	—	—	—	—
13. Уклейка <i>Alburnus alburnus</i>	xx	xx	xx	xx	xx	xx	—
14. Пестрый толстолобик <i>Aristichthys nobilis</i>	—	—	—	х	—	—	—
15. Обыкновенный жерех <i>Aspius aspius</i>	х	х	х	х	—	—	—
16. Обыкновенный усач <i>Barbus barbus</i>	х	х	ед.	—	—	—	—
17. Густера <i>Blicca bjoerkna</i>	xx	xx	xx	xx	xx	xx	—
18. Серебряный карась <i>Carassius auratus</i>	х	х	х	х	х	х	А
19. Золотой карась <i>Carassius carassius</i>	xx	xx	xx	xxx	xxx	xxx	—

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
20. Обыкновенный подуст <i>Chondrostoma nasus</i>	x	x	x	—	—	—	—
21. Белый амур <i>Ctenopharyngodon idella</i>	—	—	—	—	—	—	A
22. Черный амур <i>Mylopharyngodon piceus</i>	—	—	—	—	—	—	A
23. Сазан, обыкновенный карп <i>Cyprinus carpio</i>	x	x	x	x	x	x	A
24. Обыкновенный пескарь <i>Gobio gobio</i>	x	x	x	x	x	x	x
25. Белоперый пескарь <i>Romanogobio albipinnatus</i>	x	—	—	—	—	-	—
26. Белый толстолобик <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	x	—	—	—	—	—	A
27. Обыкновенная верховка <i>Leucaspis delineatus</i>	x	x	x	x	x	x	x
28. Голавль <i>Leuciscus cephalus</i>	x	x	ед.	x	-	-	—
29. Язь <i>Leuciscus idus</i>	x	x	x	x	x	x	—
30. Обыкновенный елец <i>Leuciscus leuciscus</i>	x	x	x	x	—	—	—
31. Чехонь <i>Pelecus cultratus</i>	x	—	—	—	—	—	—
32. Озерный гольян <i>Phoxinus perenurus</i>	x	—	—	x	—	—	—
33. Обыкновенный гольян <i>Phoxinus phoxinus</i>	x	x	x	—	—	—	—
34. Амурский чебачок <i>Pseudorasbora parva</i>	x	—	—	—	—	—	-
35. Обыкновенный горчак <i>Rhodeus sericeus</i>	x	x	x	x	—	—	-
36. Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	x
37. Красноперка <i>Scardinius erythrophthalmus</i>	xx	xx	xx	xx	xx	xx	—
38. Линь <i>Tinca tinca</i>	x	x	x	xx	xx	xx	x
39. Обыкновенный рыбец <i>Vimba vimba</i>	ед.	x	ед.	—	—	—	—
Семейство Балиторовые <i>Balitoridae</i>							
40. Усатый голец <i>Barbatula barbatula</i>	x	x	x	x	x	—	—
Семейство Вьюновые <i>Cobitidae</i>							
41. Обыкновенная щиповка <i>Cobitis taenia</i>	x	x	x	x	x	—	—
42. Обыкновенный вьюн <i>Misgurnus fossilis</i>	x	x	x	x	x	x	—
Отряд Сомообразные <i>Siluriformes</i>							
Семейство Сомовые <i>Siluridae</i>							
43. Обыкновенный сом <i>Silurus glanis</i>	x	x	x	x	—	—	x
Семейство Иctalуровые <i>Ictaluridae</i>							
44. Американский сомик <i>Ictalurus nebulosus</i>	—	—	—	—	x	—	—
45. Пятнистый сомик <i>Ictalurus punctatus</i>	—	—	—	x	—	—	—
Отряд Трескообразные <i>Gadiformes</i>							
Семейство Налимовые <i>Lotidae</i>							
46. Налим <i>Lota lota</i>	x	x	x	x	x	x	x

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Отряд Колюшкообразные <i>Gasterosteiformes</i> Семейство Колюшковые <i>Gasterosteidae</i>							
47. Трехиглая колюшка <i>Gasterosteus aculeatus</i>	х	х	х	—	—	—	—
48. Девятииглая колюшка <i>Pungitius pungitius</i>	х	—	х	—	—	—	—
Отряд Окунеобразные <i>Perciformes</i> Семейство Окуневые <i>Percidae</i>							
49. Донской ерш <i>Gymnocephalus acerinus</i>	х	—	—	—	—	—	—
50. Обыкновенный ерш <i>Gymnocephalus cernuus</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	-
51. Ерш Балона <i>Gymnocephalus baloni</i>	х	—	—	—	—	-	-
52. Речной окунь <i>Perca fluviatilis</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xx	х
53. Обыкновенный судак <i>Stizostedion lucioperca</i>	х	х	х	х	х	х	—
Семейство Головешковые <i>Eleotridae</i>							
54. Ротан-головешка <i>Perccottus glenii</i>	х	—	—	—	—	—	—
Семейство Бычковые <i>Gobiidae</i>							
55. Бычок-песочник <i>Neogobius fluviatilis</i>	х	ед.	—	—	—	—	—
56. Бычок-гонец <i>Neogobius gymnotrachelus</i>	ед.	—	—	—	—	—	—
57. Бычок-цуцик <i>Proterorhinus armatus</i>	ед.	—	—	—	—	—	—
58. Бычок-кругляк <i>Neogobius melanostomus</i>	ед.	—	—	—	—	—	—
Отряд Скорпенообразные <i>Scorpaeniformes</i> Семейство Керчаковые или Рогатковые <i>Cottidae</i>							
59. Обыкновенный подкаменщик <i>Cottus gobio</i>	х	х	х	—	—	—	—

Примечание: xxx – рыбы с высокой численностью; xx – рыбы со средней численностью; х – рыбы с невысокой численностью; ед. – рыбы, встречающиеся единично; — – рыбы не встречаются; А – рыбы, завезенные для акклиматизации и рыборазведения.

Таблица 1. – Таксономический список дендрофлоры Брестской крепости

№ п/п	Вид, форма	Семейство	Жизненная форма (по Серебрякову И.Г., 1962)	Количество о экземпляр	Родина
ОТДЕЛ PINOPHYTA					
1	<i>Picea ajanensis</i> Fisch. ex Carr.	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Зимнезеленое хвойное дерево	5	Дальний Восток
2	<i>Picea canadensis</i> Britt.	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Зимнезеленое хвойное дерево	32	Северная Америка
3	<i>Picea abies</i> L.	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Зимнезеленое хвойное дерево	88	Центральная и Северная Европа
4	<i>Picea pungens</i> Engelm.	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Зимнезеленое хвойное дерево	48	Северная Америка
5	<i>Picea pungens</i> Engelm. f. <i>glauca</i> Reg.	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Зимнезеленое хвойное дерево	1	Северная Америка
6	<i>Larix deciduas</i> Mill.	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Листопадное хвойное дерево	28	Альпы, Карпаты
7	<i>Abies alba</i> Mill.	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Зимнезеленое хвойное дерево	4	Европа
8	<i>Abies concolor</i> (Gord.) Engelm.	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Зимнезеленое хвойное дерево	8	Юго-запад США, Северная Мексика
9	<i>Abies concolor</i> f. « <i>Violacea</i> »	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Зимнезеленое хвойное дерево	10	Северная Америка
10	<i>Pinus sylvestris</i> L. f. « <i>Alba</i> »	<i>Pinaceae</i> Lindl.	Зимнезеленое хвойное дерево	3	Западная Европа
11	<i>Juniperus Sabina</i> L.	<i>Cupressaceae</i> Rich. ex Bartl.	Зимнезеленый хвойный кустарник	2	Кавказ, Малая Азия, Сибирь
12	<i>Juniperus schinensis</i> f. « <i>Stricta</i> »	<i>Cupressaceae</i> Rich. ex Bartl.	Зимнезеленый хвойный кустарник	29	Дальний Восток
13	<i>Juniperus communis</i> L.	<i>Cupressaceae</i> Rich. ex Bartl.	Зимнезеленый хвойный кустарник, реже дерево	7	Европа, Сибирь, Северная Америка, Северная Африка
14	<i>Juniperus scopulorum</i> f. « <i>Skyrocket</i> »	<i>Cupressaceae</i> Rich. ex Bartl.	Зимнезеленый хвойный кустарник	4	Западная Европа

Продолжение таблицы 1

15	<i>Biota orientalis</i> Endl.	<i>Cupressaceae</i> Rich. ex Bartl.	Зимнезеленое хвойное дерево	22	Китай, Япония, Манчжурия, Корея
16	<i>Thuja occidentalis</i> L.	<i>Cupressaceae</i> Rich. ex Bartl.	Зимнезеленое хвойное дерево	259	Северная Америка
17	<i>Thuja occidentalis</i> L. f. <i>globosa</i>	<i>Cupressaceae</i> Rich. ex Bartl.	Зимнезеленый хвойный кустарник	22	Западная Европа
18	<i>Thuja occidentalis</i> f. « <i>Aurea Nana</i> »	<i>Cupressaceae</i> Rich. ex Bartl.	Зимнезеленый хвойный кустарник	6	Западная Европа
19	<i>Thuja occidentalis</i> f « <i>Smaragd</i> »	<i>Cupressaceae</i> Rich. ex Bartl.	Зимнезеленое хвойное дерево	38	Западная Европа
ОТДЕЛ MAGNOLIOPHYTA					
20	<i>Berberis vulgaris</i> L.	<i>Berberidaceae</i> Juss.	Листопадный кустарник	24	Крым, Кавказ
21	<i>Mahonia aquifolia</i> (Pursh) Nutt.	<i>Berberidaceae</i> Juss.	Зимнезеленый кустарник	2	Северная Америка
22	<i>Ulmus laevis</i> L.	<i>Ulmaceae</i> Mirb.	Листопадное дерево	19	Европа, Скандинавия
23	<i>Morus alba</i> L.	<i>Moraceae</i> Link.	Листопадное дерево	3	Южная и Средняя Азия
24	<i>Quercus borealis</i> Michx.	<i>Fagaceae</i> Dumort.	Листопадное дерево	27	Северная Америка
25	<i>Quercus robur</i> L.	<i>Fagaceae</i> Dumort.	Листопадное дерево	48	Западная Европа, Крым Кавказ
26	<i>Castanea sativa</i> Mill.	<i>Fagaceae</i> Dumort.	Листопадное дерево	1	Западная Европа, Кавказ, Малая Азия
27	<i>Betula pendula</i> Roth.	<i>Betulaceae</i> S.F. Gray	Листопадное дерево	171	Сибирь, Европа
28	<i>Corylus colurna</i> L.	<i>Betulaceae</i> S.F. Gray	Листопадный кустарник	11	Кавказ, Балканы, Малая Азия
29	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn	<i>Betulaceae</i> S.F. Gray	Листопадное дерево	56	Европа, Северная Африка
30	<i>Juglas regia</i> L.	<i>Juglandaceae</i> A. Rich. ex Kunth.	Листопадное дерево	14	Балканы, Киргизия, Средняя Азия

Продолжение таблицы 1

31	<i>Salix alba</i> L. <i>f. Vitellina pendula</i> Rehd.	<i>Salicaceae</i> Mirb.	Листопадное дерево	52	Европа
32	<i>Salix babylonica</i> L.	<i>Salicaceae</i> Mirb.	Листопадное дерево	44	Центральный и Северный Китай
33	<i>Salix fragilis</i> L.	<i>Salicaceae</i> Mirb.	Листопадное дерево	13	Европа
34	<i>Populus balsamifera</i> L.	<i>Salicaceae</i> Mirb.	Листопадное дерево	25	Северная Америка
35	<i>Populus alba</i> L.	<i>Salicaceae</i> Mirb.	Листопадное дерево	40	Европа, Средняя и Малая Азия, Сибирь
36	<i>Populus tremula</i> L.	<i>Salicaceae</i> Mirb.	Листопадное дерево	19	Европа, Корея, Монголия, Китай
37	<i>Tilia cordata</i> Mill.	<i>Tiliaceae</i> Juss.	Листопадное дерево	60	Крым, Кавказ, Западная Сибирь
38	<i>Buxus sempervirens</i> L.	<i>Buxaceae</i> Dumort.	Листопадное дерево, реже кустарник	80	Средиземноморье, Кавказ, Индия
39	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадное дерево	4	Европейская часть России, Кавказ, Средняя Азия
40	<i>Cerasus fruticosa</i> (Pall.) G. Woron.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадный кустарник	10	Балканы, Альпы, Поволжье, Северный
41	<i>Pyrus communis</i> L.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадное дерево	8	Средиземноморье
42	<i>Cotoneaster lucidus</i> Schlecht.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадный кустарник	6	Северная Америка
43	<i>Rosa rugosa</i> Thunb.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадный кустарник	2	Корея, Китай, Япония
44	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадное дерево, реже кустарник	29	Европа, Сибирь, Дальний Восток
45	<i>Sorbus intermedia</i> (Ehrh.) Pers.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадное дерево	1	Скандинавия
46	<i>Prunus domestica</i> L.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадное дерево	4	Средиземноморье
47	<i>Prunus divaricata</i> Ledeb.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадное дерево, реже кустарник	1	Средняя Азия

Продолжение таблицы 1

48	<i>Spiraea alba</i> L.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадный кустарник	3	Восточная и Центральная Азия, Гималаи
49	<i>Padus avium</i> Mill.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадное дерево или высокий кустарник	2	Европа, Сибирь, Кавказ, Афганистан
50	<i>Malus domestica</i> L.	<i>Rosaceae</i> Juss.	Листопадное дерево	10	Восточная Азия, Кавказ
51	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	<i>Fabaceae</i> Lindl.	Листопадное дерево	226	Северная Америка
52	<i>Rhus typhina</i> L.	<i>Anacardiaceae</i> Lindl.	Листопадное дерево	3	Северная Америка
53	<i>Cotinus coggygria</i> Scop.	<i>Anacardiaceae</i> Lindl.	Листопадный кустарник	1	Средиземноморье
54	<i>Acer rubrum</i> L.	<i>Aceraceae</i> Juss.	Листопадное дерево	60	Северная Америка
55	<i>Acer platanoides</i> L.	<i>Aceraceae</i> Juss.	Листопадное дерево	288	Кавказ, Казахстан
56	<i>Acer saccharinum</i> L.	<i>Aceraceae</i> Juss.	Листопадное дерево	109	Северная Америка
57	<i>Acer negundo</i> L.	<i>Aceraceae</i> Juss.	Листопадное дерево	153	Северная Америка
58	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	<i>Hippocastanaceae</i> Juss.	Листопадное дерево	117	Балканы
59	<i>Syringa vulgaris</i> L.	<i>Oleaceae</i> Hoffm. et Link	Листопадный кустарник, реже дерево	9	Карпаты, Европа
60	<i>Forsythia intermedia</i> Zab.	<i>Oleaceae</i> Hoffm. et Link	Листопадный кустарник	1	Не установлена
61	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	<i>Oleaceae</i> Hoffm. et Link	Листопадное дерево	62	Европа, Малая Азия
62	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> L.	<i>Oleaceae</i> Hoffm. et Link	Листопадное дерево	3	Северная Америка
63	<i>Symphoricarpos albus</i> L.	<i>Caprifoliaceae</i> Juss.	Листопадный кустарник	30	Северная Америка
64	<i>Sambucus nigra</i> L.	<i>Sambucaceae</i> Batsch. Ex Borkh.	Листопадный кустарник, реже невысокое дерево	5	Западная Европа, Крым, Кавказ

Таблица 2. – Таксономический список бриофлоры Брестской крепости

№ п/ п	Вид	Семейство	Условия обитания	Группа по отношению к субстрату
Класс <i>Bryopsida</i>				
1	<i>Atrichum undulatum</i> Hedw.	<i>Polytrichaceae</i> Schwaegr.	почва на старых фундаментах	эпигейд
2	<i>Funaria hygrometrica</i> Hedw.	<i>Funariaceae</i> Bruch et Schimer	на почве газонов	эпигейд
3	<i>Tortula ruralis</i> Hedw.	<i>Pottiaceae</i> Schimp.	на почве газонов под хвойными породами	эпигейд
4	<i>Racomitrium canescens</i> (Hedw.) Brid.	<i>Grimmiaceae</i> Arnott.	на бетонных сооружениях	эпилит
5	<i>Grimmia pulvinata</i> (Hedw.) Sm.	<i>Grimmiaceae</i> Arnott.	на бетонных сооружениях	эпилит
6	<i>Ceratodon purpureus</i> Hedw.	<i>Ditrichaceae</i> Limpr.	на старом фундаменте	эпилит
7	<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	<i>Bryaceae</i> Schwaegr.	почва между трещинами в асфальте, кирпичные стены	эпилит, эпигейд
8	<i>Bryum capillare</i> Hedw.	<i>Bryaceae</i> Schwaegr.	кора деревьев	эпифит
9	<i>Plagiomnium undulatum</i> (Hedw.) E. Kop.	<i>Mniaceae</i> Schwaegr.	на почве газонов под хвойными породами	эпигейд
10	<i>Brachythecium albicans</i> Hedw.	<i>Brachytheciaceae</i> Schimp.	кора деревьев, кладка из старого кирпича	эпифит, эпилит
11	<i>Brachythecium oedipodium</i> (Mitt.) Jaeg.	<i>Brachytheciaceae</i> Schimp.	почва газонов под кустарниками	эпигейд
12	<i>Abietinella abietina</i> Hedw.	<i>Thuidiaceae</i> Schimp.	почва газонов	эпигейд
13	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw.	<i>Hypnaceae</i> Schimp.	почва газонов, кора деревьев	эпигейд, эпифит
Класс <i>Hepaticopsida</i>				
14	<i>Marchantia polymorpha</i> L.	<i>Marchantiaceae</i> (Bisch.) Endl.	на почве под бордюрами	эпигейды

