

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

Вучоныя запіскі

*Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта
імя А.С. Пушкіна*

Зборнік навуковых прац

Выпуск 6

*Частка 2
Прыродазнаўчыя навукі*

Брэст • 2010

Заснаваны ў 2005 годзе

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

Галоўны рэдактар

М.Э. Часноўскі

Намеснікі галоўнага рэдактара:

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

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

Рэдакцыйны савет:

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

Міжнародны савет:

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

Е. Нікітаровіч (Польшча), М. Пілкінгтон (Францыя), А. Юўка (Польшча)

Рэдакцыйная калегія:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Адрас рэдакцыі:

224665, г.Брэст, бульвар Касманаўтаў, 21

тэл.: 21-47-63

e-mail vesnik@brsu.brest.by

ISBN 978-985-473-661-7 (ч. 2)

ISBN 978-985-473-659-4

© УА «БрДУ імя А.С.Пушкіна», 2010

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

Scientific Proceeding

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

Collection of scientific works

Issue 6

*Part 2
Natural Sciences*

Brest • 2010

Founded 2005

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

Editor-in-chief

M.E. Chasnoyski

Editor-in-chief Deputies

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

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

Editorial council:

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

International council:

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

Editorial board:

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

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

V.V. Amelkin, S.V. Artyemenko, M.A. Bagdasarov, V.F. Bainev, O.V. Breski, V.N. Vatyl, A.N. Vitchenko,

A.L. Gulevich, M.A. Dobrinin, M.P. Zygar, G.A. Zoryn, M.S. Kovalevich, T.A. Kovalchuk, C.S. Kirvel,

M.I. Levchuk, Y.F. Martynov, A.A. Makhnach, A.V. Matveev, Z.P. Melnikova,

M.I. Mishchenchuk, E.N. Meshechko, O.V. Petrovskaya, Y.V. Radyno, S.G. Rachevski, S.V. Reshetnikov,

D.G. Rotman, B.V. Salikhov, V.V. Saltanov, V.F. Savchuk, V.S. Sekerzhitski, V.A. Senkovets, E.V. Skakun,
E.S. Slepovich, A.I. Smolik, V.A. Stepanovich, V.I. Senkevich, N.N. Trush, V.M. Homich, A.V. Chernovalov,

A.V. Chichurin, L.V. Shukevich, T.I. Yakovuk, Y.K. Yalovicheva, Y.S. Yaskevich

Publishing house address:

224665, Brest, Bulvar Kosmonavtov, 21

tel.: 21-47-63

e-mail vesnik@brsu.brest.by

ISBN 978-985-473-661-7 (ч. 2)

ISBN 978-985-473-659-4

© EE «BrSU named after A.S. Pushkin», 2010

Вучоныя запіскі



УА «Брэсцкі дзяржаўны ўніверсітэт імя А.С. Пушкіна»

ЗБОРНИК НАВУКОВЫХ ПРАЦ

2010 • Вып. 6 • Ч. 2

ЗМЕСТ

МАТЭМАТЫКА

Кожух И.Г., Касперович Ю.А. Дифференциальные уравнения с двумя квадратичными предельными циклами	7
Савчук В.Ф., Матысик О.В. К вопросу о регуляризации операторных уравнений при помощи неявного итерационного метода	17

ФІЗІКА

Костко В.С. SnI ₂ – материал для регистрации информации и производства оптико-электронных изделий	24
Лиопо В.А., Сабуть А.В., Секержицкий С.С. Габитус частиц кристаллов различных точечных групп	34
Секержицкий В.С. Об уравнении состояния сверхплотного водорода в сильном магнитном поле	47

ХІМІЯ

Ступень Н.С. Условия устойчивости композиционного магнезиального цемента	57
---	----

БІЯЛОГІЯ

Концевая И.И., Усачева Л.Н. Использование антибиотиков на этапе мультипликации микроклонального размножения <i>Betula Obscura</i> Kotulaex Fiek	65
Шик А.С., Булавин Л.А., Булавина Т.М., Небышинец С.С. Совершенствование агротехнических мер борьбы с сорняками, вредителями и болезнями – основной фактор улучшения фитосанитарного состояния полей	75

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

Еловичева Я.К., Махнач В.В. Природная среда геологического прошлого Земли в концепции современного этапа и будущего Белорусского региона	85
Зерницкая В.П., Махнач Н.А., Симакова Г.И. Изменения особенностей формирования донных отложений в озерах – карбонато-накопителях в связи с антропогенным воздействием на ландшафты водосборов	95
Махнач Н.А. Накопление химических элементов в плейстоценовых и голоценовых аутигенных минеральных образованиях	105
Мешечко Е.Н., Никитюк Д.В. О возможности применения ландшафтных исследований в туризме	121
Михальчук Н.В. Орхидный пояс Полесья и идентификация ключевых ботанических территорий	130
Красовский К.К., Сидорович А.А. Особенности геодемографических процессов в Брестской области в начале XXI века	141
Пилецкий И.В. Роль животноводства в управлении системой сельскохозяйственного производства региона	149
Звесткі аб аўтарах	157

Scientific Proceeding



Brest state university named after A.S. Pushkin

COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS

2010 • Issue 6 • Part 2

INDEX

MATHEMATICS

Kozhuh I.G., Kasperovich Y.A. Differential Equations with Two Quadratic Limit Cycle7

Savchuk V.F., Matsysik O.V. On the Regularization of Operator Equations
by Implicit Iteration Method17

PHYSICS

Kostko V.S. SnI₂ – the Material for information Registration and Production of Optic-electronic Items24

Liopo V.A., Sabutz A.V., Sekerzhitsky S.S. Habit of Crystal Particles of Different Point Groups34

Sekerzhitsky V.S. About State Equation of Superdense Hydrogen in Strong Magnetic Field47

CHEMISTRY

Stupen N.S. Conditions for Formation of Magnesium Composition Cement57

BIOLOGY

Kontsevaya I.I., Usachiova L.N. Use of Antibiotics at the Stage of Multiplication
of Microclonal Reproduction *Betula Obscura* Kotula ex Fiek65

Shyk A.S., Bulavin L.A., Bulavina T.M., Nebyshinets S.S. Perfection of Agrotechnical Measures
of Struggle against Weeds, Wreckers and Illnesses – a Major Factor of Improvement
of Phytosanitary Condition of Fields75

SCIENES ON EARTH

Yelovicheva Ya.K., Mahnach V.V. Environment of Geologic Past of the World in the Concept
of Modern Stage and Future of Byelorussian Region85

Zernitskaya V.P., Makhnach N.A., Simakova G.I. Changes of Peculiarities of Bottom Deposits
Forming in the Carbonate-Accumulating Lakes in Connection with Anthropogenic
Impact on the Landscapes of the Drainage Basins95

Makhnach N.A. Accumulation of Chemical Macro- and Trace Elements in Pleistocene
and Holocene Authigenic Mineral Bodies105

Meshechko E.N., Nikityuk D.V. On Possibility of Use of Landscape Research in Tourism121

Mikhaltchuk N.V. Orchid Belt of Polesie and Identificacion of Important Plant Areas130

Krasovski K.K., Sidorovich A.A. The Features of Geodemographic Processes
in Brest Region at the Beginning of the XXI Century141

Piletski I.V. Animal Industries in the Belarusian Poozeriya: Peculiarities and Tendencies
of Development in the XX – XXI Centuries149

Information about the authors157



УДК 519.61, 517.9

И.Г Кожух, Ю.А. Касперович

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ С ДВУМЯ КВАДРАТИЧНЫМИ ПРЕДЕЛЬНЫМИ ЦИКЛАМИ

Рассматривается динамическая система второго порядка с полиномами третьей степени в правых частях и соответствующее ей дифференциальное уравнение первого порядка, правая часть которого – отношение вышеуказанных полиномов. Найдены необходимые и достаточные условия существования у такой системы частного алгебраического интеграла, который определяется уравнением замкнутой кривой второго порядка, в частности каноническим уравнением окружности. Определен вид системы в случае наличия двух частных алгебраических интегралов в виде замкнутых кривых второго порядка и доказано, что в случае окружности и эллипса исходная система не может иметь предельных циклов. Установлено, что если такая система имеет предельные циклы, то они задаются уравнениями двух окружностей, центр одной из них совпадает с началом координат. Поскольку рассматриваемые окружности не являются концентрическими, то указаны условия, при которых они не пересекаются. Построен целый класс систем, обладающих двумя предельными циклами в виде окружностей в действительной области изменения переменных.

Имеется ряд работ, в которых динамические системы изучались в предположении, что их частными интегралами являются алгебраические кривые. Установлено, что наличие у уравнения алгебраических интегралов существенно упрощает решение задачи нахождения общего интеграла или качественного исследования такого уравнения в целом.

Знаменитая задача небесной механики о движении трех тел описывается, как известно, восемнадцатью уравнениями Гамильтона. Трудными многими выдающимися ученых удалось понизить порядок этой системы до восьми, сохранив Гамильтонову форму. Этот фундаментальный результат в проблеме трех тел получен благодаря тому, что все промежуточные интегралы, использованные для понижения порядка системы, оказались алгебраическими.

В XVII веке Л. Эйлер и Ж. Лагранж, изучая задачу о вращении твердого тела вокруг неподвижной точки, в двух частных случаях свели решение к квадратурам. Долгое время эти случаи, ставшие классическими, считались единственными, в которых решение задачи доводится до конца. Позже С.В. Ковалевская приводит еще один интегрируемый случай: задача была решена с помощью найденных в достаточном числе алгебраических интегралов [1].

Имеется немало и других задач, полное или частичное решение которых оказалось возможным во многом благодаря тому, что известны алгебраические интегральные кривые у соответствующего дифференциального уравнения. Поэтому построение систем дифференциальных уравнений, имеющих частные интегралы, заданные алгебраическими кривыми, а также исследование полученных систем представляет определенный интерес.

Способ построения таких систем дал Н.П. Еругин в [2]. Также Н.П. Еругиным рассмотрены задачи о построении множества уравнений по заданному интегральному многообразию. Т. Булатской в [3] строится множество систем дифференциальных уравнений, для которых заданные замкнутые кривые являются предельными циклами. По трем известным первым интегралам и по условно заданному четвертому А.С. Галиуллин [4] строит динамические уравнения движения твердого тела с одной закрепленной точкой.



Устаноўлена такжэ, што наявіць хоць бы адной алгебраічнай крывой у сістэмы віда (1) пазваляе значыцельна прадвінуць рашэнне задачы о поўным якасцёвым даследаванні такой сістэмы.

Устойчывыя прадельныя цыклы апісваюць устанавіўшыся перыядычныя калібаны сістэмы, знаходзяцца ў стацыянарных знешніх ўмовах. Калібаны, апісваемыя ўстойчывымі цыкламі, называюцца аўтокалібаннямі ў адлічыі ад вынуждзёных калібаний, вызваных перыядычнымі знешнімі ўздзействіямі, і ад калібаний тыпа свабодных калібаний маятніка. Аўтокалібаны сустрачаюцца, напрыклад, ў такіх сістэмах, як часы, паравая машына, электрычны званок, сэрца, радыоперадатчык; работа кожнага з гэтых устравыў апісваецца прадельным цыклам ў саотвётвующем фазовым прастранстве.

Рассмотрим динамическую систему вида:

$$\frac{dx}{dt} = X_3(x, y) \quad \frac{dy}{dt} = Y_3(x, y), \quad (1)$$

правыі частыі когорой являюцца поліномами трэцяй степені с дзействітэльнымыі коэффіціентамі. Наряду с сістэмой (1) будём рассматривать саотвётвующее ёй дэфференціальнае ўравненье:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\sum_{0 \leq i+j \leq 3} a_{ij} x^i y^j}{\sum_{0 \leq i+j \leq 3} b_{ij} x^i y^j} = \frac{Y_3(x, y)}{X_3(x, y)} \quad (2)$$

Будём счытаць, што сістэма (1) ілі, што то же самое, ўравненье (2) абладает двума частнымыі рашэннямі, заданнымі ўравненьямі замкнутых кривых второу оу-рядка. С поможью невырожденных топологических преобразований такие кривые можно свести к эллипсу и окружности или к двум окружностям.

Предположим, такое преобразование выполнено с сохранением при этом прежних обозначений переменных и параметров системы. Найдем условия, при которых указанные выше кривые определяют предельные циклы системы (1), на базе чего проведем полное исследование качественной картины этой системы.

Пусть $F(x, y)$ является квадратичной алгебраической кривой второу оу-рядка. Найдем условия, при которых она является решением уравнения(2) (или системы (1)).

Лемма 1. Для того, чтобы дифференциальное уравнение (2) в качестве решения имело квадратичные алгебраические кривые вида $F(x, y) = 0$, необходимо и достаточно, чтобы оно было преобразовано к виду

$$\frac{dy}{dx} = \frac{F_x(x, y)Y_2(x, y) + (Ax + By + C)F(x, y)}{-F_y(x, y)Y_2(x, y) + (A'x + B'y + C')F(x, y)},$$

где $Y_2(x, y)$ – квадратный многочлен от (x, y) ; A, B, C, A', B', C' – произвольные постоянные.

Доказательство.

Необходимость. Предположим, что $F(x, y) = x^2 + y^2 - 1$, тогда выполняются условия



$$\begin{cases} Y_3 = (Ax + By + C)F + Y_3'(x, y), \\ X_3 = (A'x + B'y + C')F + X_3'(x, y), \end{cases}$$

где $Y_3'(x, y)$ – кубический многочлен с постоянной, не содержащий y^3 ,

$X_3'(x, y)$ – кубический многочлен с постоянной, не содержащий x^3 .

Поскольку $F(x, y) = 0$ является решением системы (2), то в силу этой системы имеем:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial F}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} \right) \Big|_{F(x, y) = 0} = 0$$

или

$$(F_x \cdot X_3 + F_y Y_3) \Big|_{F(x, y) = 0} = 0 \quad (3)$$

и наряду с этим

$$(xX_3' + yY_3') \Big|_{F(x, y) = 0} = 0. \quad (3')$$

Лемма 2.

Для того, чтобы дифференциальное уравнение (2) имело две интегральные замкнутые непересекающиеся квадратичные алгебраические кривые $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$, из которых $F(x, y) = 0$ – окружность, а $G(x, y) = 0$ – эллипс, необходимо и достаточно, чтобы уравнение (2) приводилось к нижеследующему виду:

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{k_1 F_x G + k_2 G_x F}{k_1 F_y G + k_2 G_y F},$$

где k_1 и k_2 – ненулевые постоянные.

Доказательство. Достаточность очевидна.

Приведем доказательство необходимости, для чего предварительно рассмотрим такой частичный случай: предположим, что

$$F(x, y) = x^2 + (y - a)^2 - 1 = 0,$$

$$G(x, y) = \lambda x^2 + \mu y^2 - 1 = 0,$$

где $\lambda > 0$, $\mu > 0$, $\lambda \neq \mu$, $a \neq 0$.

Не нарушая общности рассуждений, будем считать, что $a > 0$.

Из того, что кривые $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$ являются решениями уравнения (2), следует

$$\begin{aligned} \lambda X_3 + \mu y Y_3 &\equiv GL_2, \\ x X_3 + (y - a) Y_3 &= FL_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где L_2 и L_2'' – два произвольных многочлена второй степени.

Из условия (4) при $x = 0$ следует, что

$$\begin{aligned} \mu y (Y_3) \Big|_{x=0} &\equiv (\mu y^2 - 1) (L_2) \Big|_{x=0}, \\ (y - a) (Y_3) \Big|_{x=0} &= ((y - a)^2 - 1) (L_2') \Big|_{x=0}. \end{aligned}$$



Кроме того, поскольку $(\mu y^2 - 1)$ не зависит непосредственно от $((y-a)^2 - 1)$, то $F(x, y) = 0$ и $G(x, y) = 0$ должны быть взаимосвязаны, что противоречит первоначальному предположению о непересекающихся кривых $F(x, y) = 0$ и $G(x, y) = 0$.

Отсюда следует, что должно выполняться тождество:

$$Y_3 \equiv xY_2. \quad (5)$$

Воспользовавшись тождествами (4) в предположении, что $x = 0$, получим:

$$\begin{cases} L_2 = xL_1, \\ L_2' = xL_1', \end{cases} \quad (6)$$

где $L_1 = Ax + By + C$, $L_1' = A'x + B'y + C'$.

Подставив (5) и (6) в выражения (4), будем иметь

$$\lambda X_3 + \mu y Y_2 \equiv GL_1,$$

$$X_3 + (y-a)Y_2 = FL_1',$$

откуда значения X_3 и Y_2 можно выразить следующим образом, например, по правилу Крамера:

$$X_3 = \frac{(y-a)L_1G - \mu y FL_1'}{(\lambda - \mu)y - a\lambda},$$
$$Y_2 = \frac{\lambda FL_1' - GL_1}{(\lambda - \mu)y - a\lambda} \equiv K_1 \lambda F - K_2 G + \frac{\lambda FL_1' - G\bar{L}_1}{(\lambda - \mu)y - a\lambda}, \quad (7)$$

где $\bar{L}_1 = Ax + D$, $\bar{L}_1' = A'x + D'$, $k_1 = \frac{B'}{\lambda - \mu}$, $k_2 = \frac{B}{\lambda - \mu}$, $D = k_2 a \lambda + C$, $D' = k_1 a \lambda + C'$.

Из условия (5) следует, что $(\lambda F\bar{L}_1' - G\bar{L}_1) \Big|_{y = \frac{a\lambda}{\lambda - \mu}} \equiv 0$.

Сравнивая коэффициенты, замечаем, что $A = A'$ $D = D'$.

$$A(\lambda^2 + (a^2 - 1)\lambda\mu - \lambda + \mu) = 0,$$

$$D(\lambda^2 + (a^2 - 1)\lambda\mu - \lambda + \mu) = 0.$$

Поскольку кривые $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$ не пересекаются, то необходимо, чтобы $\lambda^2 + (a^2 - 1)\lambda\mu - \lambda + \mu \neq 0$, отсюда $A = A' = D = D' = 0$, а, значит, $\bar{L}_1 = \bar{L}_1' = 0$.

Из выражения (5) и (7) можно непосредственно получить необходимость условий теоремы в рассматриваемом частном случае. Перейдем к доказательству в общем случае. Пусть $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$ являются решениями уравнения (2).

Из леммы (1) следует, что



$$Y_3 \equiv L_1 F + F_x Y_2 \equiv L_1' G + G_x Y_2', \quad (8)$$

$$X_3 \equiv \bar{L}_1 F - F_y Y_2 \equiv \bar{L}_1' G - G_y Y_2'. \quad (8')$$

Умножим (8) на G_y , а (8') на G_x и полученные произведения сложим, тогда

$$(G_y L_1 + G_x \bar{L}_1) F + Y_2 (F_x G_y - F_y G_x) - (G_y L_1' - G_x \bar{L}_1') G \equiv 0. \quad (9)$$

Будем проводить далее исследование в комплексной области, используя метод неопределенных коэффициентов.

Прежде всего рассмотрим равенства

$$\begin{cases} G(x, y) = 0, \\ F(x, y) = 0 \\ F_x G_y - F_y G_x = 0, \end{cases}$$

не имеющие общих решений.

Поскольку в комплексной области квадратные алгебраические кривые $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$ имеют четыре точки пересечения (включая бесконечно удаленную точку), то из тождества (9) видно, что $Y_2 = 0$ есть квадратичная кривая, имеющая четыре общих точки с кривыми $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$, что можно записать в следующем виде:

$$Y_2 = c_1 G + c_2 F, \quad (10)$$

(c_1, c_2 – комплексные числа)

$$Y_2' = c_1' G + c_2' F, \quad (10')$$

(c_1', c_2' – комплексные числа).

Подставим (10) и (10') в тождество (8), получим:

$$Y_3 \equiv (L_1 + c_2 F_x) F + c_1 F_x G \equiv (L_1' + c_1' G_x - c_1 F_x) G \quad (11)$$

или $(L_1 + C_2 F_x - C_2 G_x) F = (L_1' + C_1 G_x - C_1 F_x) G$.

Т.к. $F(x, \acute{o})$ и $G(x, \acute{o})$, представляют собой независимые многочлены с действительными коэффициентами, то $L_1 + C_2 F_x = C_2 G_x$;

$$L_1' + C_1' F_x = C_1' G_x.$$

Из тождества имеем: $Y_3 = C_2' G_x F + C_1 F_x G$, а также $X_3 = -C_2' G_y F + C_1 F_y G$.

Таким образом, необходимость полностью доказана.

Замечание: если $F(x, \acute{o}) = 0$, $G(x, \acute{o}) = 0$ имеют парные точки пересечения, то можно предположить, что

$$F(x, \acute{o}) = x_2 + y_2 - 1 \quad (12)$$

$$G(x, \acute{o}) = ax^2 + 2hxy + by^2 + 2fx + 2gy + c \quad (13)$$

Поскольку мы предполагаем, что $G(x, \acute{o}) = 0$ – эллипс, то кривые $F(x, \acute{o}) = 0$ $G(x, \acute{o}) = 0$ не могут иметь нескольких бесконечных удаленных точек пересечения, ибо в противном случае кривая $G(x, \acute{o}) = 0$ была бы окружностью.



Следовательно, можно считать, что они имеют конечные точки пересечения, но так как по предположению уравнения с действительными коэффициентами $F(x, \acute{o}) = 0$ и $G(x, \acute{o}) = 0$ на плоскости не могут пересекаться, то их точки пересечения являются взаимосопряженными комплексными числами.

Пусть $x = \alpha \pm \beta i$, $y = \gamma \pm \delta$. Преобразованием коэффициентов всегда можно привести к случаю $\beta = 0$, поэтому двойные точки пересечения имеют комплексные координаты

$$\begin{cases} x_0 = \cosh \varphi = 1, \\ y_0 = \pm \sinh \varphi \neq 0. \end{cases}$$

Подставив в выражение (13), получим

$$\begin{cases} ax_0^2 + by_0^2 + 2fx_0 + c = 0, & (14) \\ hx_0y_0 + gy_0 = 0. & (15) \end{cases}$$

А поскольку

$$\frac{1}{4}(F_x G_y - G_x F_y) = h(x^2 - y^2) + (b - a)xy + gx + fy, \quad (16)$$

то, вторично вводя точки пересечения в выражение (13), получим:

$$h(x_0^2 - y_0^2) + gx_0 = 0 \quad (17)$$

$$(b - a)x_0y_0 - fy_0 = 0 \quad (18)$$

а поскольку определитель

$$\begin{vmatrix} x_0y_0 & y_0 \\ x_0^2 - y_0^2 & x_0 \end{vmatrix} = y_0^3 \neq 0 \quad (\text{т.к. } y_0 \neq 0)$$

то из (15) и (17) следует, что $h = g = 0$.

На основании выше изложенного кривая $G(x, \acute{o}) = 0$ является эллипсом. Лемма доказана.

Следствие. Если дифференциальное уравнение (2) имеет две квадратичных замкнутых кривых в качестве решения и одна из них – окружность, а другая – эллипс, то обе они не могут быть предельными циклами.

В самом деле, рассматриваемое уравнение имеет интеграл $F^{k_1}G^{k_2} = C$ при $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$. Из теоремы Ляпунова известно, что при $F(x, y) = 0$ и $G(x, y) = 0$ особой точкой уравнения является не фокус, а центр.

Теорема 1 (существование).

Для того, чтобы уравнение (2) обладало двумя квадратичными алгебраическими предельными циклами, необходимо и достаточно, чтобы с помощью не вырожденного линейного преобразования

$$\begin{cases} X_1 = \lambda x + \beta y + \varepsilon \\ Y_1 = \gamma x + \delta y + \eta \end{cases} \quad \begin{vmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{vmatrix} = 0 \quad (19)$$

её можно привести к следующему виду:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x(x^2 + y^2 - 1)(Ax + By + C) - x(x^2 + (y - a)^2 - R^2)(Ax + By + C')}{(y - a)(x^2 + y^2 - 1)(Ax + By + C) - y(x^2 + (y - a)^2 - R^2)(Ax + By + C')} \quad (20)$$



где величины $A, B, C, \tilde{N}', a, R$ удовлетворяют следующим условиям:

1) при $a \neq 0, |a - R| > 1$, т.е. $|a| > 1, |a + R| < 1$, т.е. $|a| < 1$;

2) $(C')^2 > A^2 + B^2, \left| \frac{Ba + C}{\sqrt{A^2 + B^2}} \right| > R$;

3) $A \neq 0, C \neq C'$.

Доказательство.

Достаточность:

Поскольку преобразование (19) не изменяет характера квадратичных алгебраических кривых и предельных циклов, то необходимо исследовать уравнение (20).

Пусть $G(x, y) = x^2 + y^2 - 1, F(x, y) = x^2 + (y - a)^2 - R^2$.

Очевидно, что $F(x, y) = 0, G(x, y) = 0$ являются решениями уравнения (20), однако из условия 1 следует, что эти кривые – две окружности, причём непересекающиеся, а из условия 2 следует, что прямая $Ax + By + C_1 = 0$ и окружность $G(x, y) = 0$, а также прямая $Ax + By + \tilde{N}'$ и окружность $F(x, y) = 0$ не пересекаются. Значит, $F(x, y) = 0$ и $G(x, y) = 0$ – периодические решения уравнения (2).

Покажем, что эти окружности являются двумя предельными алгебраическими циклами системы (1). Запишем уравнение (20) в виде

$$\frac{\partial x}{\partial t} = F_y G(Ax + By + C) - G_y F(Ax + By + C') = X_3'(x, y), \quad (21)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -F_x G(Ax + By + C) + G_x F(Ax + By + C') = Y_3'(x, y),$$

Затем воспользуемся вспомогательным уравнением:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{x(x^2 + y^2 - 1)(By + c) - x(x^2 + (y - a)^2 - R^2)(By + \tilde{N}')}{(y - a)(x^2 + y^2 - 1)(By + c) - y(x^2 + (y - a)^2 - R^2)(By + \tilde{N}')} \quad (22)$$

которое запишем в виде:

$$\frac{dx}{dt} = F_y G(By + c) - G_y F(By + c') = X_3''(x, y), \quad (23)$$

$$\frac{dy}{dt} = -F_x G(By + c) + G_x F(By + c') = Y_3''(x, y),$$

Очевидно, $Y_3''(-x, y) = -Y_3''(x, y), X_3''(-x, y) = X_3''(x, y)$

Из соображений симметрии следует, что интегральные кривые уравнения (22) симметричны относительно оси OY. Так как $G(x, y) = 0$ и $F(x, y) = 0$ – периодические решения уравнения (22), то в области этих окружностей существуют периодические решения одного семейства.

Изучим далее характер взаимосвязи уравнений (20) и (22), а именно, рассмотрим:

$$0 = \frac{dx}{dt} \Big|_{(23)} \frac{dy}{dt} \Big|_{(21)} - \frac{dx}{dt} \Big|_{(21)} \frac{dy}{dt} \Big|_{(23)} = X_3''(x, y) Y_3'(x, y) - X_3'(x, y) Y_3''(x, y) = 4d(C' - C)Ax^2GF. \quad (24)$$



Поскольку $A \neq 0$, $a \neq 0$, $C' \neq C$, то характер взаимосвязи этих уравнений лежит в не области общих решений $F(x, y) = 0$ и $G(x, y) = 0$. Такая взаимосвязь может быть только при $x=0$, однако уравнение (24) содержит x^2 , поэтому при $x=0$ точки взаимосвязи лежат на интегральных кривых уравнений (20) и (22). Известно, что периодические решения, находившиеся в области кривых $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$, являются независимыми циклами уравнения (20), а следовательно, $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$ – предельные циклы этого уравнения. Достаточность доказана.

Необходимость.

На основании леммы 2 заключаем, что если уравнение (2) имеет в качестве предельных циклов алгебраические кривые второго порядка, то преобразование (19) одну из них переводит в окружность, после чего другая также становится окружностью. При этом предполагается, что их форма однотипна.

Пусть (2) имеет две алгебраические кривые:

$$\begin{aligned}G(x, y) &= x^2 + y^2 - 1 = 0, \\F(x, y) &= x^2 + (y - a)^2 - R^2 = 0.\end{aligned}$$

Откуда следует, что

$$\begin{aligned}2xX_3 + 2yY_3 &= (x^2 + y^2 - 1)L_2, \\2xX_3 - 2(y - a)Y_3 &= (x^2 + (y - a)^2 - R^2)L_2,\end{aligned}\quad (25)$$

где L_2, L_2' – квадратичные многочлены.

Пусть $x = 0$, тогда из равенств (25) получим

$$\begin{aligned}2yX_3|_{x=0} &= (y^2 - 1)L_2, \\2(y - a)X_3|_{x=0} &= ((y - a)^2 - R^2)L_2',\end{aligned}$$

следовательно $Y_3 \Big|_{x=0, (y^2 - 1)[(y - a)^2 - R^2]} = 0$.

Значит, $Y_3(x, y) = xY_2(x, y)$, $Y_2(x, y)$ – квадратный многочлен от (x, y) ввиду того, что $F(x, y)$, $G(x, y)$ не являются взаимозависимыми.

Вводя значение $Y(x, y)$ в (25) получим $L_2 = x(Ax + By + C)$, $L_2' = x(A'x + B'y + C')$; в результате равенства (25) примут вид:

$$\begin{aligned}2X_3 + 2Y_2 &= (x^2 + y^2 - 1)(Ax + By + C), \\2X_3 + 2(y - a) &= (x^2 + (y - a)^2 - R^2)(A'x + B'y + C').\end{aligned}\quad (26)$$

Сравнивая коэффициенты при x^3 и y^3 , находим, что $A' = A$, $B' = B$.

Пусть $a \neq 0$, тогда из тождеств (26) получим

$$\begin{aligned}X_3 &= -\frac{1}{4a}[(2(y - a)G(Ax + By + C) - 2yF(Ax + By + C'))], \\Y_3 &= \frac{x}{4a}[(2G(Ax + By + C) - 2F(Ax + By + C'))],\end{aligned}$$

а это представляет собой форму записи правой части уравнения (20). Теорема доказана.



Замечания.

1. Условие $a \neq 0$ является необходимым, ибо если $a = 0$, по аналогии с вышеизложенным имеем $X_3 = yX_2$, а тогда

$$\begin{aligned}2X_2 + 2Y_2 &\equiv (x^2 + y^2 - 1)B, \\2X_3 + 2Y_2 &\equiv (x^2 + y^2 - R^2)B'.\end{aligned}$$

Отсюда, учитывая, что $B = B'$, видно, что уравнение (2) принимает вид $\frac{dy}{dt} = -\frac{xX_2}{yX_2} = -\frac{x}{y}$, что противоречит предположению о наличии предельных циклов.

2. Необходимыми являются условия 1 и 2, в противном случае уравнение (2) на кривых $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$ может иметь особые точки.

3. Необходимым является и условие 3, в противном случае кривые $F(x, y) = 0$, $G(x, y) = 0$ не могут служить предельными циклами.

Примечание.

В непрерывной динамической системе положение равновесия (особая точка) – точка в фазовом пространстве, к которой приближается траектория после затухания переходных режимов (при t стремящемся к бесконечности). В механических системах под положением равновесия обычно имеют в виду состояние с нулевым ускорением и нулевой скоростью. В отображениях положениями равновесия могут быть конечные множества: при итерациях отображения или разностного уравнения система последовательно переходит от одной точки такого множества к другой (положение равновесия также называется неподвижной точкой или точкой покоя).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Уиттекер, Е.Г. Аналитическая динамика / Е.Г. Уиттекер. – М–Л. : ОГИЗ ГИТТЛ, 1937. – 500 с.
2. Еругин, Н.П. Построение всего множества систем, имеющих заданную интегральную кривую / Н.П. Еругин // Прикладная математика и механика. – 1952. – № 16, Вып.6. – С 659–670.
3. Булатская, Т.Ф. О построении всего множества систем дифференциальных уравнений, имеющих своими предельными цмклами заданные кривые / Т.Ф. Булатская // Дифференц. уравнения. – 1972. – Т. 8, № 8. – С. 1349–1356.
4. Галиуллин, А.С. Обратные задачи динамики тяжелого твердого тела с одной закрепленной точкой / А.С. Галиуллин // Дифференц.уравнения. – 1972. – Т.8, №8. – С. 1357–1362.
5. Баутин, Н.Н. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости / Н.Н. Баутин, Е.А. Леонтович. – М. : Наука, 1990.
6. <http://www.math.rsu.ru/mexmat/kvm/MME/dsarch/SP7.html>.
7. http://tw.t.mpei.ac.ru/math/ODE/ODEsys/ODEsysaut_08180000.html.



I.G. Kozhuh, Y.A. Kasperovich. Differential Equations with Two Quadratic Limit Cycle

A second-order dynamical system with third-degree polynomial on the right side and at the same time, the corresponding first order differential equations, whose right side is the ratio of the above polynomials, is considered. The necessary and sufficient conditions for the existence of such system of private algebraic integral, which is determined by the equation of the closed curve of the second-order, in particular - the canonical equation of a circle are found. The form of the system in the presence of two particular algebraic integrals in the form of closed curves of the second order is determined and it is proved that in the case of the circle and the ellipse the original system can not have limit cycles. It has been established that if such a system has limit cycles, they are given by the equations of two circles and the centre of one of them coincides with the origin of the coordinate. Since these circles are not concentric, the conditions under which they do not intersect are given. The whole class of systems with two limit cycles in the form of circles in the real domain of the variables is build.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 14.10.2010



УДК 519.6 + 517.983.54

В.Ф. Савчук, О.В. Матысик

К ВОПРОСУ О РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ОПЕРАТОРНЫХ УРАВНЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ НЕЯВНОГО ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА

Для решения линейных уравнений с положительным ограниченным и самосопряжённым оператором в гильбертовом пространстве предлагается неявный итерационный метод. Для предложенного метода обосновано применение правила останова по невязке, что делает рассматриваемый итерационный метод эффективным и тогда, когда нет сведений об истокообразной представимости точного решения. В работе доказана сходимость итерационного метода, получены оценка погрешности метода и оценка для момента останова.

Постановка задачи

В гильбертовом пространстве H решается линейное операторное уравнение

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

с положительным ограниченным самосопряженным оператором A , для которого нуль не является собственным значением. Однако предполагается, что нуль принадлежит спектру оператора A , поэтому задача (1) неустойчива и, следовательно, некорректна. Для решения уравнения (1) предлагается неявный итерационный метод:

$$(E + \alpha A^k)x_{n+1} = (E - \alpha A^k)x_n + 2\alpha A^{k-1}y, x_0 = 0, k \in N. \quad (2)$$

Предполагая существование единственного точного решения x уравнения (1) при точной правой части y , ищем его приближение $x_{n,\delta}$ при приближенной правой части $y_\delta, \|y - y_\delta\| \leq \delta$. В этом случае метод (2) примет вид:

$$(E + \alpha A^k)x_{n+1,\delta} = (E - \alpha A^k)x_{n,\delta} + 2\alpha A^{k-1}y_\delta, x_{0,\delta} = 0, k \in N. \quad (3)$$

Ниже под сходимостью метода (3) понимается утверждение о том, что приближения (3) сколь угодно близко подходят к точному решению x уравнения (1) при подходящем выборе n и достаточно малых δ , т.е.

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \left(\inf_n \|x - x_{n,\delta}\| \right) = 0.$$

Для метода (3) при условии $\alpha > 0$ доказана сходимость при точной и приближенной правой части уравнения (1), и в предположении, что точное решение уравнения истокообразно представимо, т.е. $x = A^s z$, $s > 0$, получена априорная оценка погрешности [1]. Эта априорная оценка погрешности оптимизирована и найден априорный момент останова. В случае, когда нет сведений об истокообразной представимости точного решения, метод (3) становится неэффективным, так как тогда невозможно получить



оценку погрешности и найти априорный момент останова. Тем не менее этот метод можно сделать вполне эффективным, если воспользоваться следующим правилом останова по невязке, аналогичным [2–4].

Правило останова по невязке

Зададим уровень останова $\varepsilon > 0$ и определим момент m останова условиями:

$$\begin{aligned} \|Ax_{n,\delta} - y_\delta\| &> \varepsilon, \quad (n < m), \\ \|Ax_{m,\delta} - y_\delta\| &\leq \varepsilon, \quad \varepsilon = b\delta, \quad b > 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Предполагается, что при начальном приближении $x_{0,\delta}$ невязка достаточно велика, больше уровня останова ε , т.е. $\|Ax_{0,\delta} - y_\delta\| > \varepsilon$. Ниже метод итерации (3) с правилом останова (4) является сходящимся, если $\lim_{\delta \rightarrow 0} \left(\inf_m \|x - x_{m,\delta}\| \right) = 0$. Покажем, что правило останова по невязке (4) применимо к методу (3).

Рассмотрим семейство функций $g_n(\lambda) = \lambda^{-1} \left[1 - \frac{(1 - \alpha\lambda^k)^n}{(1 + \alpha\lambda^k)^n} \right] \geq 0$. Нетрудно показать, что для $g_n(\lambda)$ при $\alpha > 0$ выполняются следующие условия

$$\sup_{0 \leq \lambda \leq M} |g_n(\lambda)| \leq 2k(n\alpha)^{1/k}, \quad n > 0, \quad (5)$$

$$\sup_{0 \leq \lambda \leq M} |1 - \lambda g_n(\lambda)| \leq 1, \quad n > 0, \quad (6)$$

$$1 - \lambda g_n(\lambda) \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty, \quad \forall \lambda \in (0, M], \quad (7)$$

$$\sup_{0 \leq \lambda \leq M} \lambda^s |1 - \lambda g_n(\lambda)| \leq \left(\frac{s}{kn\alpha e} \right)^{s/k}, \quad n > 0, \quad 0 \leq s < \infty. \quad (8)$$

Справедлива

Лемма 1. Пусть $A = A^* \geq 0$, $\|A\| \leq M$. Тогда для любого $\omega \in H$ $(E - Ag_n(A))\omega \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$.

Доказательство.

Используя интегральное представление самосопряженного оператора $A = \int_0^M \lambda dE_\lambda$, где $M = \|A\|$ и E_λ – спектральная функция оператора A , получим:



$$(E - Ag_n(A))\omega = \int_0^M (1 - \lambda g_n(\lambda)) dE_\lambda \omega = \int_0^{\varepsilon_0} (1 - \lambda g_n(\lambda)) dE_\lambda \omega + \int_{\varepsilon_0}^M (1 - \lambda g_n(\lambda)) dE_\lambda \omega.$$

Так как $1 - \lambda g_n(\lambda) = \left(\frac{1 - \alpha \lambda^k}{1 + \alpha \lambda^k} \right)^n$ и $\left| \frac{1 - \alpha \lambda^k}{1 + \alpha \lambda^k} \right| \leq q(\varepsilon_0) < 1$ для всех $\lambda \in (0, M]$ и $\alpha > 0$, то

$$\left\| \int_{\varepsilon_0}^M (1 - \lambda g_n(\lambda)) dE_\lambda \omega \right\| \leq q^n(\varepsilon_0) \left\| \int_{\varepsilon_0}^M dE_\lambda \omega \right\| \leq q^n(\varepsilon_0) \|\omega\| \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty.$$

Из (6) имеем $\left\| \int_0^{\varepsilon_0} (1 - \lambda g_n(\lambda)) dE_\lambda \omega \right\| \leq \left\| \int_0^{\varepsilon_0} dE_\lambda \omega \right\| = \|E_{\varepsilon_0} \omega\| \rightarrow 0, \varepsilon_0 \rightarrow 0$ в силу свойств спектральной функции. Следовательно, $(E - Ag_n(A))\omega \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$. Лемма 1 доказана.

Имеет место

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

Доказательство.

Так как верно неравенство (8), то получим

$$n^{\frac{s}{k}} \|A^s (E - Ag_n(A))\| \leq n^{\frac{s}{k}} \sup_{0 \leq \lambda \leq M} \lambda^s |1 - \lambda g_n(\lambda)| \leq n^{\frac{s}{k}} \gamma_s n^{-\frac{s}{k}} = \gamma_s,$$

где $\gamma_s = \left(\frac{s}{k\alpha e} \right)^{\frac{s}{k}}$. Воспользуемся теоремой Банаха–Штейнгауза [5, с. 151], по которой сходимость $B_n u \rightarrow B u$ при $n \rightarrow \infty$ для всех $u \in H$ имеет место тогда и только тогда, когда эта сходимость имеет место на некотором плотном в H подмножестве и $\|B_n\|, n = 1, 2, \dots$, ограничены независимой от n постоянной.

Возьмём в качестве плотного в $\overline{R(A)} = H$ множество $R(A)$. Положим $s_1 = s + 1$. Тогда для каждого $v = A\omega \in R(A)$ имеем

$$n^{\frac{s}{k}} \|A^s (E - Ag_n(A))v\| = n^{\frac{s}{k}} \|A^{s+1} (E - Ag_n(A))\omega\| \leq n^{\frac{s}{k}} \left(\frac{s+1}{k\alpha e} \right)^{\frac{s+1}{k}} n^{-\frac{(s+1)}{k}} \|\omega\| = \gamma_{s_1} n^{-\frac{1}{k}} \|\omega\| \rightarrow 0,$$

при $n \rightarrow \infty$, так как $s_1 < \infty$. Лемма 2 доказана.

Справедлива



Лемма 3. Пусть $A = A^* \geq 0$, $\|A\| \leq M$. Если для некоторой последовательности $n_p < \bar{n} = \text{const}$ и $v_0 \in \overline{R(A)}$ при $p \rightarrow \infty$ имеем $\omega_p = A(E - Ag_{n_p}(A))v_0 \rightarrow 0$, то $v_p = (E - Ag_{n_p}(A))v_0 \rightarrow 0$.

Доказательство.

В силу (6) последовательность v_p ограничена $\|v_p\| \leq \gamma_0 \|v_0\|$, $\gamma_0 = 1$, $p \in N$. Поэтому в гильбертовом пространстве из этой последовательности можно извлечь слабо сходящуюся подпоследовательность. Пусть $v_p \rightharpoonup v$, ($p \in N' \subseteq N$), тогда $Av_p \rightharpoonup Av$, ($p \in N'$). Но по условию $\omega_p = Av_p \rightarrow 0$, $p \rightarrow \infty$, следовательно, $Av = 0$. Поскольку нуль не является собственным значением оператора A , то $v = 0$. Тогда

$$\begin{aligned} \|v_p\|^2 &= (v_p, (E - Ag_{n_p}(A))v_0) = (v_p, v_0) - (v_p, Ag_{n_p}(A)v_0) = \\ &= (v_p, v_0) - (Av_p, g_{n_p}(A)v_0) = (v_p, v_0) - (\omega_p, g_n(A)v_0) \rightarrow (v, v_0), \end{aligned}$$

так как $\omega_p \rightarrow 0$, $p \rightarrow \infty$, $v = 0$ и по условию (5) $\|g_{n_p}(A)\| \leq 2k(n_p \alpha)^{1/k} < 2k(\bar{n} \alpha)^{1/k}$. Следовательно, $\|v_p\| \rightarrow 0$. Итак, всякая слабо сходящаяся подпоследовательность указанной выше ограниченной последовательности v_p стремится к нулю по норме. Следовательно, и вся последовательность $v_p \rightarrow 0$, $p \rightarrow \infty$. Лемма 3 доказана.

Используем доказанные леммы при доказательстве следующей теоремы.

Теорема 1. Пусть $A = A^* \geq 0$, $\|A\| \leq M$ и пусть момент останова $m = m(\delta)$ в методе (3) выбирается по правилу (4). Тогда $x_{m,\delta} \rightarrow x$ при $\delta \rightarrow 0$.

Доказательство.

По индукции легко показать, что $x_{n,\delta} = A^{-1} \left[E - (E - \alpha A^k)^n (E + \alpha A^k)^{-n} \right] y_\delta$. Следовательно,

$$x_{n,\delta} - x = g_n(A)(y_\delta - y) - (E - Ag_n(A))x. \quad (9)$$

Отсюда

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

В силу лемм 1 и 2 имеем

$$\|(E - Ag_n(A))x\| \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty, \quad (11)$$



$$\sigma_n = n^{1/k} \|A(E - Ag_n(A))x\| \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty. \quad (12)$$

Кроме того, из (5) и (6) следует, что

$$\|g_n(A)(y_\delta - y)\| \leq 2k(n\alpha)^{1/k} \delta, \quad (13)$$

$$\|E - Ag_n(A)\| \leq 1. \quad (14)$$

Применим правило останова (4). Тогда $\|Ax_{m,\delta} - y_\delta\| \leq b\delta$, $b > 1$ и из (10) и (14) получим

$$\|A(E - Ag_m(A))x\| \leq \|Ax_{m,\delta} - y_\delta\| + \|(E - Ag_m(A))(y_\delta - y)\| \leq (b+1)\delta. \quad (15)$$

Для любого $n < m$ $\|Ax_{n,\delta} - y_\delta\| > \varepsilon$, поэтому

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

Итак, для $\forall n < m$

$$\|A(E - Ag_n(A))x\| \geq (b-1)\delta. \quad (16)$$

Из (12) и (16) при $n = m-1$ получим $\frac{\sigma_{m-1}}{(m-1)^{1/k}} = \|A(E - Ag_{m-1}(A))x\| \geq (b-1)\delta$ или

$(m-1)^{1/k} \delta \leq \frac{\sigma_{m-1}}{b-1} \rightarrow 0, \delta \rightarrow 0$ (так как из (12) $\sigma_m \rightarrow 0, m \rightarrow \infty$). Если при этом $m \rightarrow \infty$ при $\delta \rightarrow 0$ то, используя (9), получим

$$\begin{aligned} \|x_{m,\delta} - x\| &\leq \|(E - Ag_m(A))x\| + \|g_m(A)(y_\delta - y)\| \leq \\ &\leq \|(E - Ag_m(A))x\| + 2k(m\alpha)^{1/k} \delta \rightarrow 0, \quad m \rightarrow \infty, \delta \rightarrow 0, \end{aligned}$$

так как из (11) $\|(E - Ag_m(A))x\| \rightarrow 0, m \rightarrow \infty$.

Если же для некоторых $\delta_n \rightarrow 0$ последовательность $m(\delta_n)$ окажется ограниченной, то и в этом случае $x_{m(\delta_n),\delta_n} \rightarrow x, \delta_n \rightarrow 0$. Действительно, из (15) имеем $\|A(E - Ag_{m(\delta_n)}(A))x\| \leq (b+1)\delta_n \rightarrow 0, \delta_n \rightarrow 0$. Отсюда по лемме 3 получаем, что $(E - Ag_{m(\delta_n)}(A))x \rightarrow 0, \delta_n \rightarrow 0$. Поэтому

$$\|x_{m(\delta_n),\delta_n} - x\| \leq \|(E - Ag_{m(\delta_n)}(A))x\| + 2k(m(\delta_n)\alpha)^{1/k} \delta_n \rightarrow 0, \delta_n \rightarrow 0.$$

Теорема 1 доказана.



Оценка погрешности

Имеет место

Теорема 2. Пусть выполнены условия теоремы 1 и пусть $x = A^s z$, $s > 0$. Тогда

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

$$\|x_{m,\delta} - x\| \leq [(b+1)\delta]^{\frac{s}{s+1}} \|z\|^{\frac{1}{s+1}} + 2k\alpha^{\frac{1}{k}} \left\{ 1 + \frac{s+1}{k\alpha e} \left[\frac{\|z\|}{(b-1)\delta} \right]^{\frac{k}{s+1}} \right\}^{\frac{1}{k}} \delta. \quad (17)$$

Доказательство.

Так как $x = A^s z$, $s > 0$, то

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

Воспользовавшись (16), получим $(b-1)\delta \leq (s+1)^{\frac{s+1}{k}} [k(m-1)\alpha e]^{-\frac{(s+1)}{k}} \|z\|$, отсюда

$m \leq 1 + \frac{s+1}{k\alpha e} \left[\frac{\|z\|}{(b-1)\delta} \right]^{\frac{k}{s+1}}$. При помощи неравенства моментов оценим

$$\begin{aligned} \|(E - Ag_m(A))x\| &\leq \|A^{s+1}(E - Ag_m(A))z\|^{s/(s+1)} \|(E - Ag_m(A))z\|^{1/(s+1)} \leq \\ &\leq \|A(E - Ag_m(A))x\|^{s/(s+1)} \|z\|^{1/(s+1)} \leq [(b+1)\delta]^{s/(s+1)} \|z\|^{1/(s+1)} \quad (\text{см. (15)}). \end{aligned}$$

Так как соотношение (9) справедливо для любых n , то

$$\begin{aligned} \|x_{m,\delta} - x\| &\leq \|(E - Ag_m(A))x\| + \|g_m(A)(y_\delta - y)\| \leq [(b+1)\delta]^{\frac{s}{s+1}} \|z\|^{\frac{1}{s+1}} + \\ &+ 2k\alpha^{1/k} \left\{ 1 + \frac{s+1}{k\alpha e} \left[\frac{\|z\|}{(b-1)\delta} \right]^{\frac{k}{s+1}} \right\}^{1/k} \delta. \end{aligned}$$

Теорема 2 доказана.

Замечание 1. Порядок оценки (17) есть $O\left(\frac{s}{\delta^{s+1}}\right)$ и, как следует из [6], он оптимален в классе задач с истокорпредставимыми решениями.



Замечание 2. *Используемое в формулировке теоремы 2 предположение порядка $s > 0$ истокопредставимости точного решения не потребуется на практике, так как оно не содержится в правиле останова (4). И тем не менее в теореме 2 утверждается, что будет автоматически выбрано количество итераций m , обеспечивающих оптимальный порядок погрешности. Но даже, если истоко-представимость точного решения отсутствует, останов по невязке (4), как показывает теорема 1, обеспечивает сходимость метода, т.е. его регуляризующие свойства.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матысик, О.В. Сходимость в гильбертовом пространстве неявной итерационной процедуры решения линейных уравнений / О.В. Матысик, В.Ф. Савчук // Вестник Брестского ун-та. – 2008. – № 1(30). – С. 15–21.
2. Емелин, И.В. К теории некорректных задач / И. В. Емелин, М.А. Красносельский // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 244, № 4. – С. 805–808.
3. Вайникко, Г.М. Итерационные процедуры в некорректных задачах / Г.М. Вайникко, А.Ю. Веретенников. – М. : Наука, 1986. – 178 с.
4. Матысик, О.В. О регуляризации операторных уравнений в гильбертовом пространстве / О.В. Матысик // Докл. НАН Беларуси. – 2005. – Т. 49, № 3. – С. 38–43.
5. Люстерник, Л.А. Элементы функционального анализа / Л.А. Люстерник, В.И. Соболев. – М. : Наука, 1965. – 520 с.
6. Вайникко, Г.М. Оценки погрешностей метода последовательных приближений для некорректных задач / Г.М. Вайникко // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 3. – С. 84–92.

V.F. Savchuk, O.V. Matysik. On the Regularization of Operator Equations by Implicit Iteration Method

In the Hilbert space for solving linear equations with affirmative limited and self-conjugate operator an implicit iteration method is proposed. The application of the residual stop rule for the offered method has been proved, which makes the given iteration method quite effective even when there are no data about source representability of the exact solution. In work the convergence of the iteration method is proved, the estimation of the error of this method and the estimation for the moment of stop are received.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 15.01.2010



УДК 538.9

В.С. Костко

SnI₂ – МАТЕРИАЛ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ И ПРОИЗВОДСТВА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Приводятся параметры кристаллических решеток α -SnI₂, β -SnI₂-модификаций и продуктов засветки порошка α -SnI₂. Рассматриваются примеры практического применения тонких слоев дийодида олова для получения как позитивных, так и негативных изображений, а также структур SnI₂-металл-диэлектрик для формирования рельефных металлических изображений. Приводится схема оптической установки для записи голографических дифракционных решеток на структурах SnI₂-металл-диэлектрик.

Статья подготовлена по материалам доклада 3 ноября 2010 года в рамках «Международной недели науки и техники» (г. Донгуан, КНР).

Тонкие пленки дийодида олова (SnI₂) представляют научный и практический интерес с точки зрения их светочувствительности. С физической точки зрения дийодид олова интересен своими полиморфными превращениями. Рентгеновскими методами было обнаружено, что в результате изготовления тонких пленок при термическом вакуумном напылении на диэлектрические подложки происходит полиморфное превращение первоначальной α -SnI₂-модификации (порошок красного цвета) моноклинной структуры (пространственная группа симметрии C2/m) с параметрами элементарной ячейки $a = 14.17 \text{ \AA}$, $b = 4.535 \text{ \AA}$, $c = 10.87 \text{ \AA}$ и $\beta = 92.0^\circ$ (рисунок 1) в β -SnI₂-модификацию гексагональной плотноупакованной структуры с параметрами элементарной ячейки $a = 4.506 \text{ \AA}$, $c = 6.946 \text{ \AA}$ [1] (рисунок 2). Конечным продуктом засветки тонких пленок β -SnI₂-модификации является аморфный диоксид олова SnO₂. Измерения были выполнены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2 в Cu K α -излучении ($\lambda = 1,54178 \text{ \AA}$).

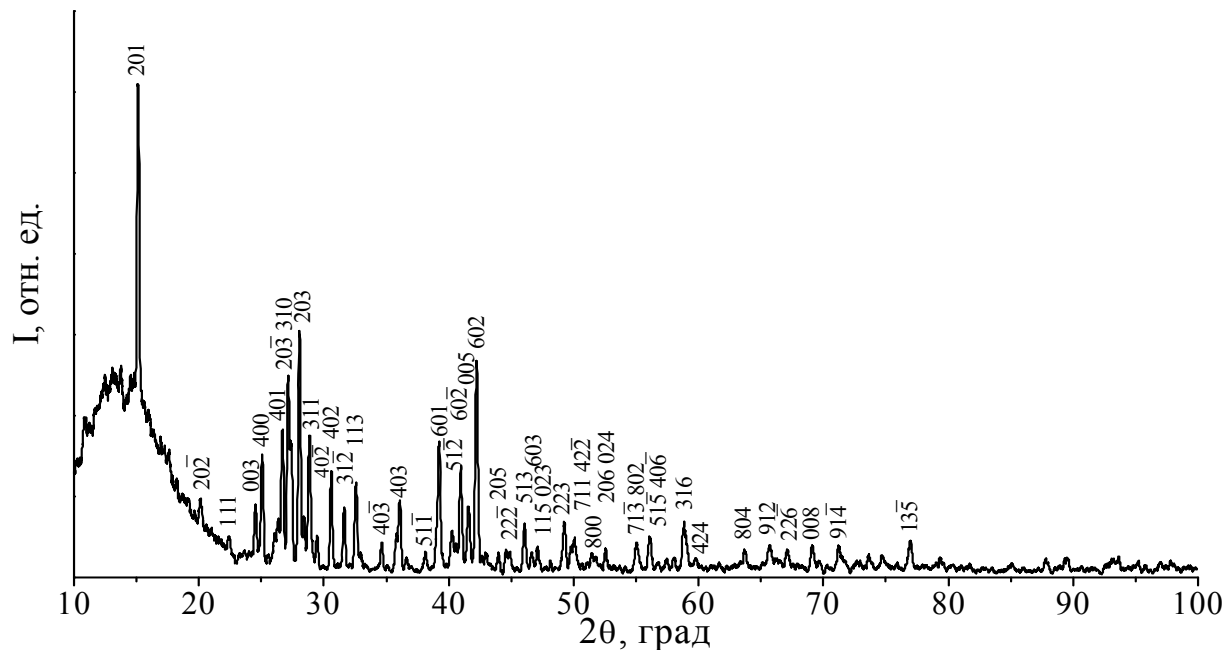


Рисунок 1 – Рентгенограмма порошка α -SnI₂-модификации

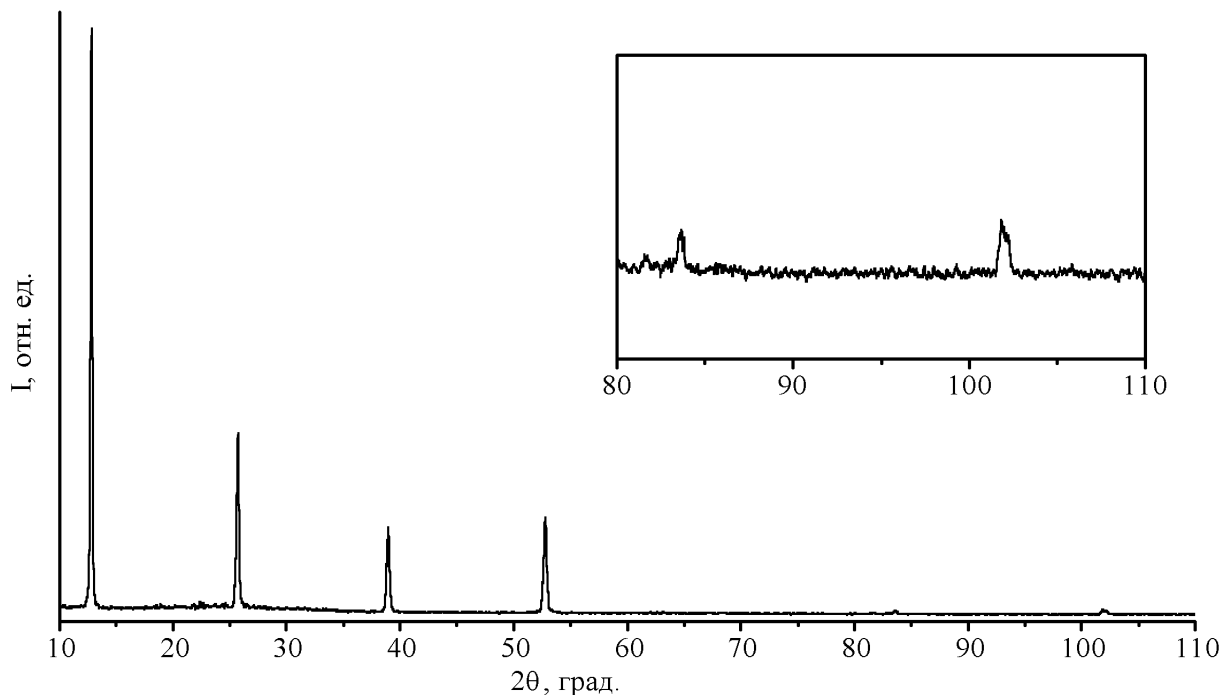


Рисунок 2 – Рентгенограмма пленки β - SnI_2 -модификации, полученной методом термического вакуумного испарения порошка α - SnI_2

Были проведены исследования возможной светочувствительности и самого исходного порошка α - SnI_2 . На рисунке 3 представлена рентгенограмма продуктов засветки измельченного в агатовой ступке порошка α - SnI_2 интегральным световым потоком от лампы ПРК-2 с расстояния 15 см в течение 2 часов.

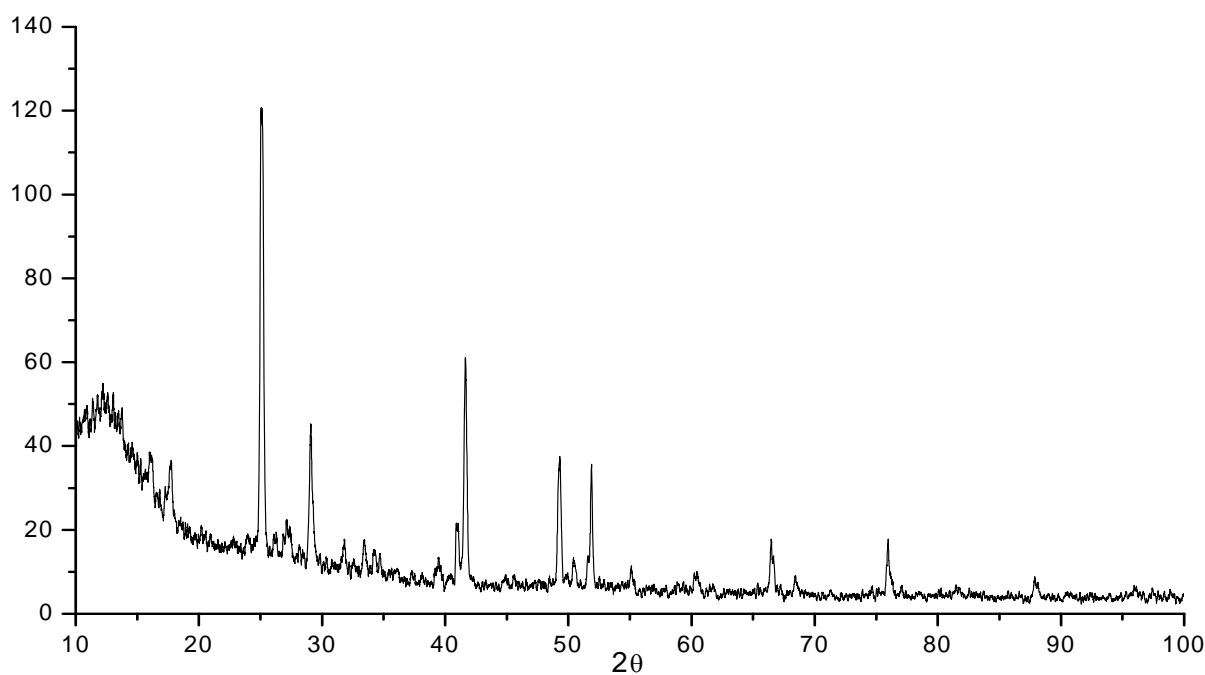


Рисунок 3 – Рентгенограмма продуктов засветки порошка α - SnI_2



Сравнив полученный рентгеновский спектр с известными данными для SnI_4 из картотеки JCPDS – ASTM, удалось идентифицировать тип кристаллической решетки продуктов засветки $\alpha\text{-SnI}_2$. Сравнение полученных экспериментальных данных с данными картотеки JCPDS – ASTM для SnI_4 указывает на их высокую точность совпадения. На основании этого был сделан вывод о превращении $\alpha\text{-SnI}_2$ в SnI_4 при интенсивной засветке и дополнительном инфракрасном нагреве порошка $\alpha\text{-SnI}_2$ -модификации лампой ПРК-2, которое сопровождается перестройкой кристаллической решетки моноклинной сингонии в кубическую решетку с параметром решетки $a = 12,27 \text{ \AA}$.

С точки зрения практического применения тонкие пленки SnI_2 можно рассматривать как перспективные бессеребряные регистрирующие среды, альтернативные традиционным галоидо-серебряным средам (рисунок 4).

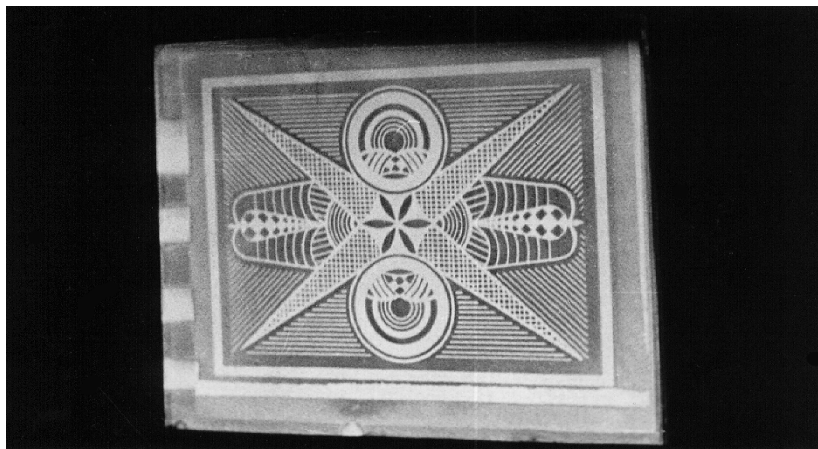


Рисунок 4 – Фотография определителя резкости, полученная на структуре SnI_2 -диэлектрик

Полупроводниковые слои SnI_2 , нанесенные на диэлектрические подложки, обладают фотографической чувствительностью. Чувствительность слоев SnI_2 может быть значительно увеличена легированием соответствующими примесями. Так, например, добавление к SnI_2 йодида свинца PbI_2 значительно повышает его чувствительность. Слои, получаемые термическим напылением SnI_2 на диэлектрические подложки, обладают высокими однородностью и разрешающей способностью, большой чувствительностью и не требуют стадии химического проявления. Изображение появляется непосредственно в процессе облучения (рисунок 4). Исследования слоев SnI_2 показали, что спектральное распределение чувствительности определяется областью поглощения вещества полупроводникового слоя и простирается от ультрафиолетовой до видимой области спектра. Слои также чувствительны к рентгеновскому излучению и электронным потокам. Изображение на слоях может быть получено в результате проецирования оптической системой или путем контактной печати. Исследование зависимости светочувствительности слоев SnI_2 от толщины (рисунок 5) указали на возможность получения как позитивных, так и негативных изображений в тонких интерференционно-способных слоях SnI_2 при определенных толщинах полупроводникового слоя (рисунок 6) [3]. Так, например, при толщине слоя SnI_2 $40 \div 70 \text{ нм}$ получается негативное изображение, а при толщине $140 \div 170 \text{ нм}$ – позитивное.

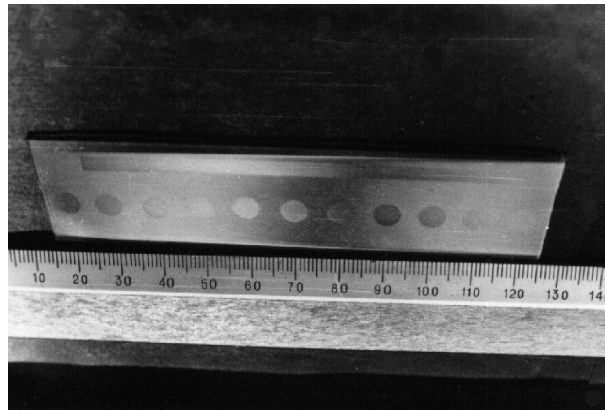


Рисунок 5 – Фотография линейного клина

При этом не осуществляется никаких дополнительных химических процессов, подобных процессу обращения в традиционной фотографии. Стадия химического закрепления изображения как в одном, так и в другом случае остается неизменной.

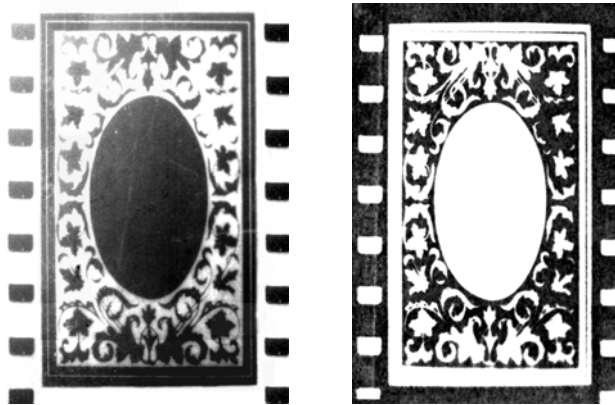


Рисунок 6 – Позитивная и негативная фотографии определителя резкости, полученные на структуре SnI₂-металл-диэлектрик

Тонкие слои SnI₂, нанесенные на металлический слой, обладают свойствами, которые необходимы для получения изображения с большой контрастностью и высоким разрешением. Так, например, они обладают сильным поглощением в видимой области спектра, высоким показателем преломления, малым размером кристаллитов. Эти свойства структуры SnI₂-металл, в сочетании с высокой чувствительностью при комнатной температуре, выгодно характеризуют ее как перспективный бессеребряный материал для различных технических применений.

Структуры полупроводник-металл-диэлектрик обладают следующими основными светочувствительными и техническими характеристиками:

1. Разрешающая способность – 4000÷5000 лин/мм.
2. Чувствительность – $10^{-3} \div 10^{-4}$ Дж/см².
3. Область спектральной чувствительности – ультрафиолетовая, видимая, ближняя инфракрасная.
4. Приготовление структуры – преимущественно термическое вакуумное нанесение.



5. Проявление изображения – непосредственно в процессе облучения.

6. Закрепление изображения – химическая обработка 1–3% водным раствором феррицианида калия ($K_3Fe(CN)_6$) или 0,5–2% водным раствором хлорида железа ($FeCl_3$).

Анализ структуры SnI_2 -Cd-стекло методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (электронный спектрометр ЭС-2401, Mg K α излучение) указал на наличие частиц Cd на верхней грани полупроводника (граница раздела воздух-полупроводник) даже без предварительной засветки образца. Это явление может быть вызвано двумя причинами: высокой подвижностью ионов Cd либо их фотодиффузией, т.к. не представлялось возможным полностью исключить попадание света на структуру ПМД в процессе ее изготовления.

На рисунке 7 приведены результаты рентгенофазового анализа структуры SnI_2 -Cd-стекло. Рентгенографические исследования выполнены при комнатной температуре на установке ДРОН-2 (монохроматизированное Cu K α -излучение, $\lambda = 1.54051 \text{ \AA}$). Для индирования рефлексов рентгенограмм с целью точного определения фазового состава структур ПМД до засветки и после необходимо было иметь четкие представления о рентгенограмме тонкой пленки Cd на стекле. Сопоставляя рентгенограммы фольги кадмия и тонкой пленки Cd на стекле, можно видеть, что угловые положения видимых индексов hkl пленки Cd хорошо коррелируют с угловыми положениями рефлексов фольги Cd. Различие состоит лишь в интенсивности рефлексов. В тонкой пленке Cd интенсивность рефлексов гораздо выше, чем на рентгенограмме фольги Cd. Это можно объяснить преимущественной ориентацией структуры тонкой пленки относительно определенного направления. Стехиометрия состава напыленных пленок Cd сохраняется. Тип кристаллической решетки пленки Cd такой же, как и у фольги, – гексагональный с параметрами решетки $a = 2,9793 \text{ \AA}$, $c = 5,6181 \text{ \AA}$ [4].

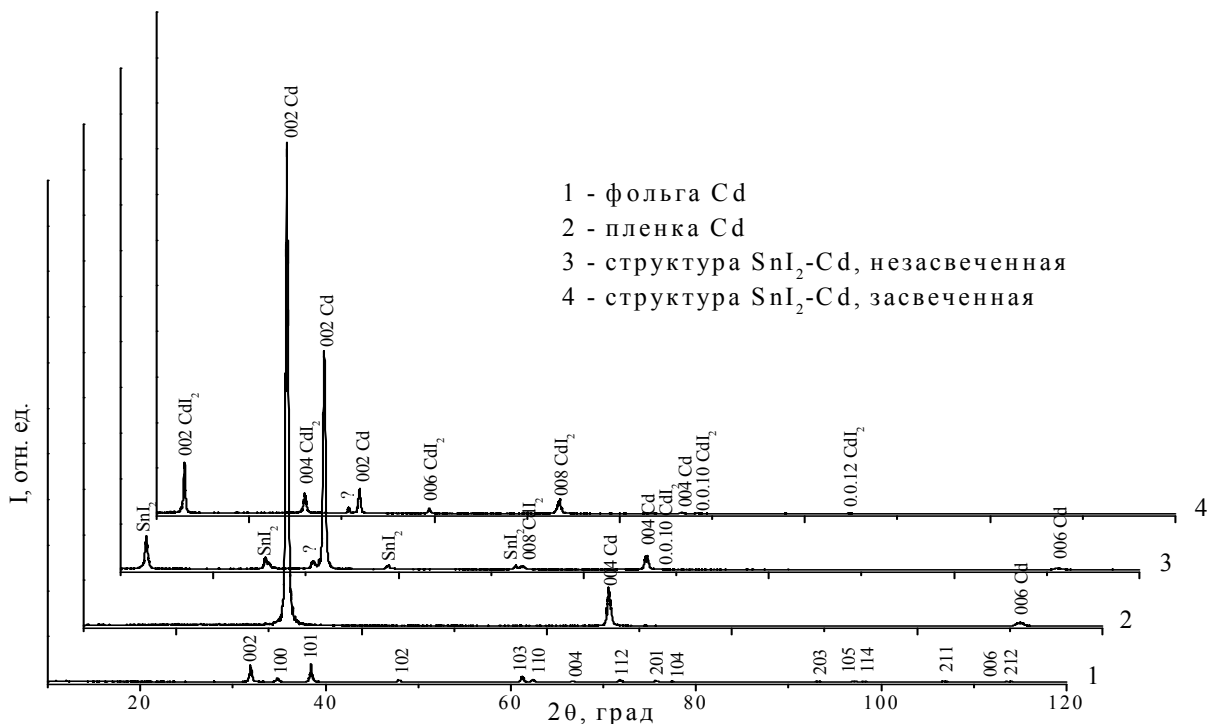


Рисунок 7 – Рентгенограммы структуры SnI_2 -Cd-стекло до засветки и после засветки, а также тонких пленок и фольги Cd



Анализ рентгенограмм незасвеченной структуры SnI₂-Cd-стекло показал, что в результате темновой диффузии (или фотодиффузии, стимулированной рассеянным светом на стадии вакуумная установка–рентгеновская установка после синтеза, перед аттестацией) ионов кадмия в слой полупроводника происходит образование дийодида кадмия (CdI₂). Дополнительное облучение структуры интегральным потоком от ртутной лампы ПРК-2 с расстояния 20 см в течение 10 минут усиливает обнаруженный эффект образования CdI₂.

Для получения информации о распределении химических элементов по глубине, и в частности о промежуточном слое светочувствительной структуры SnI₂-Cd-стекло, использовался электронный сканирующий оже-спектрометр (Scanning Auger Multiprobe) РНІ-660 фирмы Perkin Elmer (США). В данной установке возбуждение атомов осуществляется первичным остростфокусированным электронным пучком с энергией электронов 0,1÷10 кэВ. Диаметр пучка 0,1÷10 мкм определяет локальность анализа в плоскости объекта исследования. Кроме того, использование электронов для возбуждения атомов позволяет дополнительно реализовать режим сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), что практически всегда выполняется в современных оже-спектрометрах. Изображение объекта во вторичных, отраженных или поглощенных электронах выводится на экран дисплея, что позволяет определять место анализа с разрешением СЭМ (10 нм). Локальность по глубине определяется глубиной выхода оже-электронов и составляет 0,3÷3,0 нм в зависимости от энергии оже-электронов, которая изменяется в пределах 20–2500 эВ. Низкая энергия анализируемых электронов и высокая чувствительность к поверхностным загрязнениям накладывает дополнительные требования проведения измерений в сверхвысоком вакууме ~10⁻¹⁰ мм рт. ст.

Для обнаружения таких элементов, как олово (Sn), йод (I), кадмий (Cd), кислород (O), углерод (C), в исследуемом слое регистрировались оже-переходы: KL₁L₂ (O, C), M₁N₁N₂ (Cd, Sn, I) и L₁M₁M₂ (Si, Ca).

Распределение химических элементов по глубине определяют в результате ионного распыления слоев исследуемого объекта с периодической регистрацией оже-электронов. Для распыления применялись ионы аргона с энергией 3,5 кэВ.

Исследования области контакта слоев полупроводника и металла в структуре SnI₂-Cd-стекло, проведенные методом электронной оже-спектроскопии, показали, что так же, как и в РФС-исследованиях, атомы кадмия обнаруживались даже на поверхности полупроводникового слоя (рисунок 8). На оже-спектре кроме линий олова и йода присутствуют линии кадмия. Присутствие ионов кадмия на поверхности структуры SnI₂-Cd-стекло можно объяснить их тепловой диффузией.

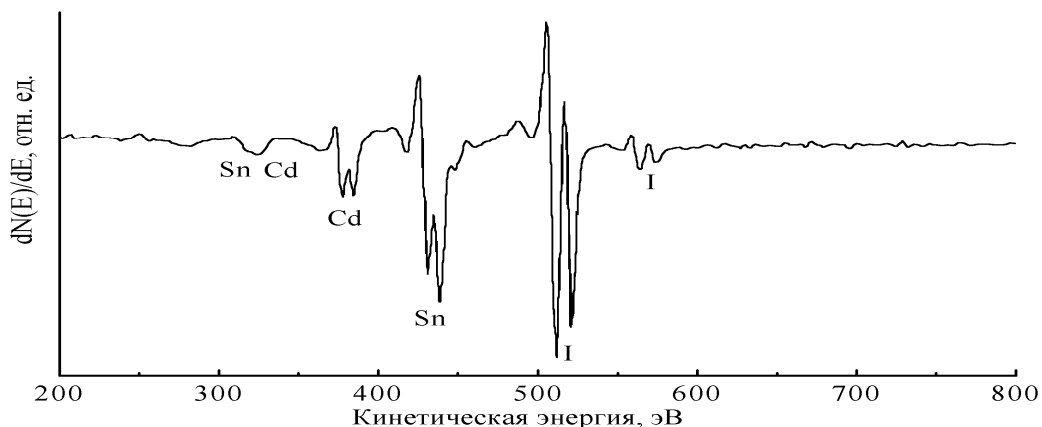


Рисунок 8 – Оже-спектр поверхности исходной структуры SnI₂-Cd-стекло



Проведенные оже-измерения, чередующиеся с распылением поверхности ионами аргона, показали, что даже в необлученных структурах SnI₂-Cd-стекло отсутствует четкая граница полупроводник-металл (рисунок 9).

На рисунке 9 представлено распределение химических элементов по глубине в исходной структуре SnI₂-Cd-стекло. Отсутствие здесь линий кислорода даже для подложки (SiO₂) объясняется особенностями съемки. Линия кислорода на оже-спектре совпадает с линией йода, поэтому отсутствует возможность определить содержание кислорода в том случае, если в образце присутствует йод. Атомная концентрация кремния в подложке несколько завышена именно по данной причине. Очевидна взаимодиффузия ионов кремния (подложка), ионов кадмия (металлический слой), ионов олова и йода (полупроводниковый слой) в области больших толщин.

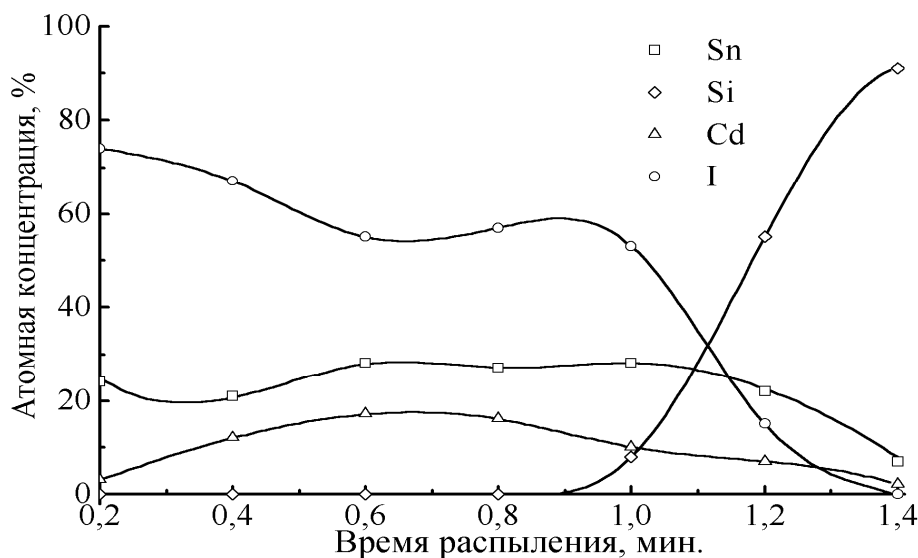


Рисунок 9 – Распределение элементов по глубине в исходной структуре SnI₂-Cd-стекло

Чтобы зарегистрировать результат фотостимулированных превращений в системе полупроводник-металл-диэлектрик, было проведено облучение структуры интегральным потоком от ртутной лампы ПРК-2 с расстояния 20 см в течение 15 мин.

Распределение химических элементов по глубине для системы SnI₂-Cd-стекло в результате облучения представлено на рисунке 10. Видно, что продуктами облучения структуры SnI₂-Cd-стекло являются олово, кадмий и кислород, концентрация которых до определенной толщины практически не меняется. При более глубоком (точнее, более длительном) стравливании в оже-спектре обнаруживаются линии кремния. Концентрация кремния с глубиной, естественно, растет. Характерно, что кривые, соответствующие кадмию и олову, при этом не спадают резко до нулевой концентрации. Это свидетельствует о взаимодиффузии частиц структуры полупроводник-металл и подложки (кремния), что подтверждает обнаруженный еще на ранней стадии исследований эффект: после химического стравливания (удаления) следов структур полупроводник-металл и их продуктов при внимательном рассмотрении можно было видеть матовый (диффузный) след на поверхности подложки.

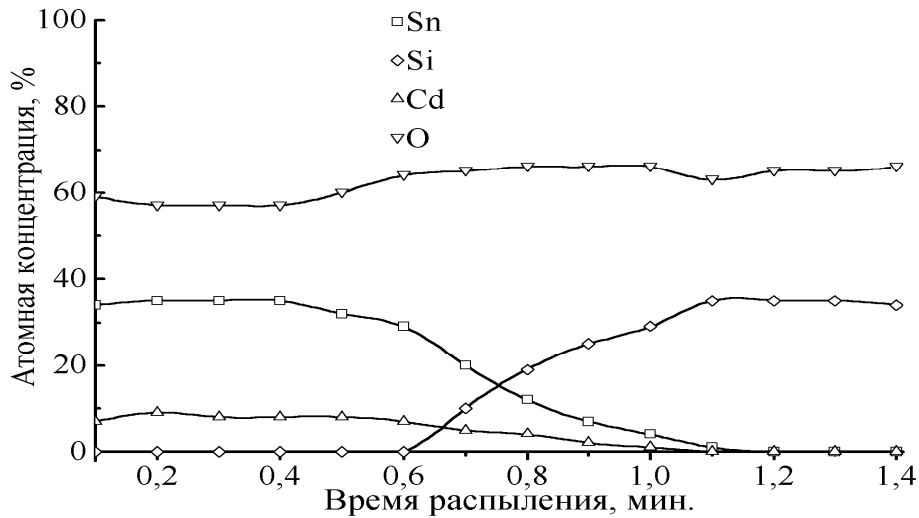


Рисунок 10 – Распределение элементов по глубине в структуре SnI₂-Cd-стекло после облучения

Изготовление рельефных изделий с помощью структуры SnI₂-металл-диэлектрик может производиться по следующей схеме (рисунок 11).

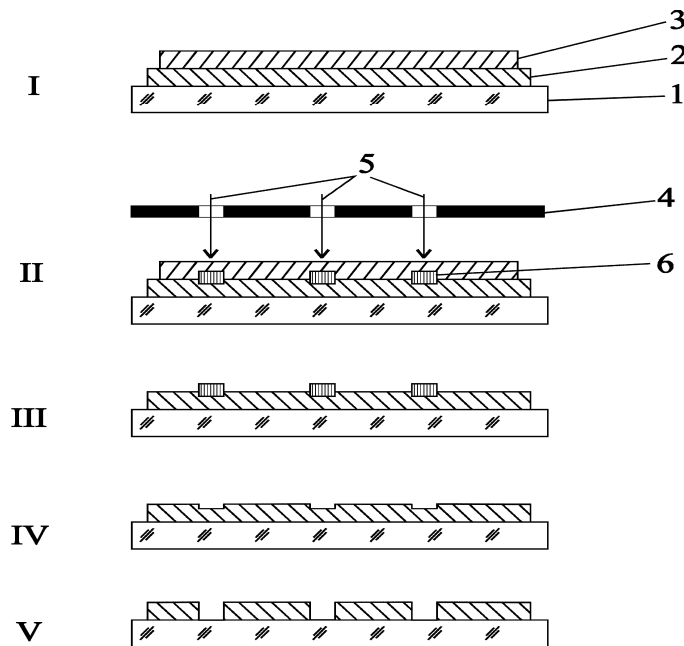


Рисунок 11 – Схема изготовления рельефных изделий с помощью структуры SnI₂-металл-диэлектрик

На диэлектрическую подложку 1 (стекло, кварц, слюда, керамика, лавсан, органическое стекло) в вакууме $\sim 10^{-5}$ мм рт. ст. методом термического испарения последовательно наносятся слой металла 2 и слой SnI₂ 3. Образовавшуюся структуру SnI₂-металл-диэлектрик облучают через трафарет 4 интегральным потоком от ртутной лампы высокого давления ДКсЛ-1000. Под воздействием падающего излучения 5 происходит фотохимическое взаимодействие между слоем металла 2 и слоем SnI₂ 3 с образованием продуктов взаимодействия 6. После экспонирования образец погружается в вод-



ный раствор хлорида железа FeCl_3 , с помощью которого удаляются участки слоя 3, не вступившие во взаимодействие со слоем 2. В этом случае рельефное изделие образовано продуктами взаимодействия 6 (рисунок 11, поз. III). При использовании в качестве травителя водного раствора железосинеродистого калия $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ происходит удаление участков слоя 3 SnI_2 , которые не вступили в химическое взаимодействие со слоем металла 2, а также и участков продуктов реакции 6. В этом случае рельеф образуется уже самим металлом (рисунок 11, поз. IV). В случае выбора оптимальных толщин металла и полупроводника, а также при достаточном облучении возможно образование рельефного изображения, образованного металлом и диэлектрической подложкой (рисунок 11, поз. V). Таким методом на структуре SnI_2 -Sn-стекло была получена голографическая дифракционная решетка.

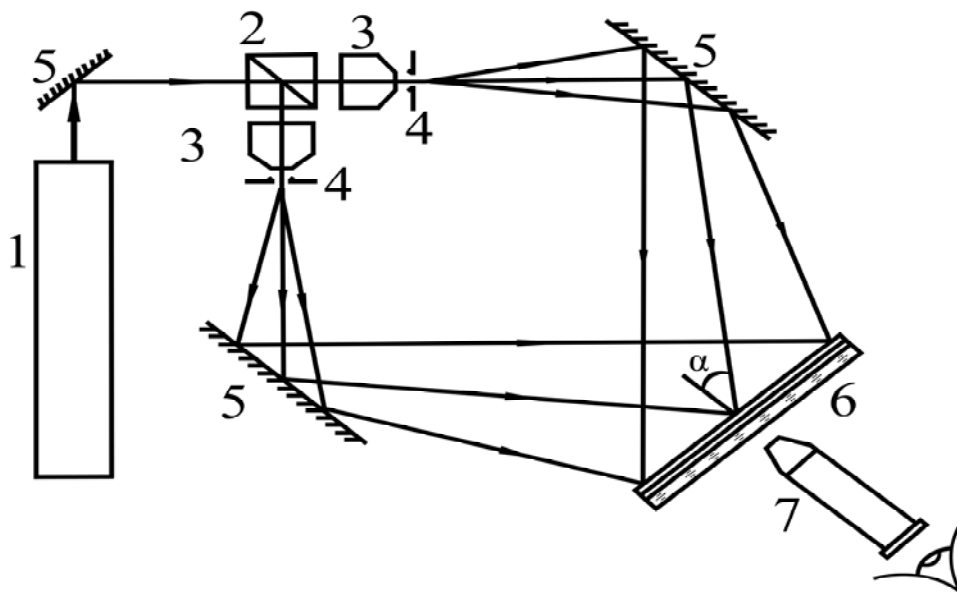


Рисунок 12 – Схема оптической установки для записи дифракционной решетки

Голографическая запись дифракционных решеток основана на регистрации светочувствительной средой интерференционной картины, образованной когерентными пучками лазерного излучения. Расстояние между соседними штрихами для случая симметричного падения двух лазерных пучков относительно нормали к среде определяется выражением $d = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$, где λ – длина волны лазерного излучения, 2α – угол между интерферирующими пучками. Используя для записи излучение различных длин волн, а также изменяя угол 2α , можно в широких пределах изменять постоянную дифракционной решетки.

Запись дифракционной голографической решетки на системе SnI_2 -металл-диэлектрик осуществляется следующим образом. Первоначально готовится сама светочувствительная система. На подложку из стекла или кварца, окиси хрома, слюды, металла, керамики, лавсана, органического стекла в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. термическим испарением наносят слой металла (Au, Ag, Ni, Cr, Cu, Cd, In, Sn, Fe, Pb, Al) толщиной от нескольких нанометров до сотен нанометров. На этот слой наносят слой йодида олова толщиной от десятков до сотен нанометров. На систему слоев со стороны слоя йодида олова проецируется интерференционная картина, образованная двумя когерентными



пучками света от лазера «Игла – 4» (488 нм) с пространственной частотой 1300 мм^{-1} . При энергетической освещенности 10^{-3} Вт/см^2 время облучения составляет 10 минут. Под действием электромагнитного излучения происходит взаимодействие между слоем металла и слоем йодида олова с образованием продуктов взаимодействия. После экспонирования образец погружают в водный раствор феррицианида калия 10 г/л на 8 минут. Затем образец промывают дистиллированной водой и высушивают. Получают рельефное изображение в слое металла (дифракционную голографическую решетку) с расстоянием между полосами 770 нм.

Технико-экономические преимущества предлагаемого способа в сравнении с прототипами заключаются в экономии энергетических и временных затрат, необходимых для реализации способа, обусловленной повышением светочувствительности предложенной системы, а также ее относительной нетоксичностью.

На IX Московском международном салоне инноваций и инвестиций (2009 г.) разработки «Способ получения позитивного или негативного изображения на бессеребряных светочувствительных слоях» и «Способ нанесения рельефного изображения на диэлектрическую подложку» удостоены золотой и бронзовой медали соответственно.

Рассмотренные свойства и технические характеристики тонких слоев SnI_2 и многокомпонентных структур SnI_2 -металл-диэлектрик могут найти их практическое применение в следующих областях: оплотехника (голографические решетки, зеркала, микрошкалы, линзы и др.), электроника (фотошаблоны, элементы микросхем, CD-диски); вычислительная техника (запоминающие устройства), литография (печатные формы), бессеребряная фотография (регистрирующие среды).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kostko V.S., Kostko O.V., Makovetskii G.I., Yanushkevich K.I. Phys. Stat. Sol. (b), 2002, v. 229, №3, p. 1349.
2. Способ нанесения рельефного изображения на диэлектрическую подложку : пат. 8800 Респ. Беларусь, G 03F 7/32, G 03C 5/58 / В.С. Костко, О.В. Костко ; заявл. 19.11.2003 ; опубл. 30.06.2005 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 6 (53). – С. 135.
3. Способ получения позитивного или негативного изображения на бессеребряных светочувствительных слоях : пат. 9295 Респ. Беларусь, G 03C 1/485, 5/00 / В.С. Костко ; заявл. 11.10.2004 ; опубл. 30.06.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 6 (56). – С.139.
4. Костко, В.С. Светочувствительность тонкопленочной структуры SnI_2 - SnI_2 -стекло и фазовый состав структуры SnI_2 - Cd -стекло / В.С. Костко [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук.– 2001.– № 1.– С. 103–106.

V.S. Kostko. SnI₂ – the Material for information Registration and Production of Optic-electronic Items

The parameters of lattice α - SnI_2 , SnI_2 -modifications and the products of powder flash α - SnI_2 are given. The examples of practical application of thin layers of tin diiodide for getting both positive and negative images, as well as the structures SnI_2 -metal-dielectric for the formation of metallic glyphs are considered. The scheme of optical installation for the recording of holographic grating arrays on the structures of SnI_2 -metal-dielectric is shown.

The article has been prepared on the report in the framework of «International Week of Science and Technology» (Donguan, China, November, 03, 2010).

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 10.11.2010



УДК 539.21

В.А. Лиопо, А.В. Сабуть, С.С. Секержицкий

ГАБИТУС ЧАСТИЦ КРИСТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫХ ТОЧЕЧНЫХ ГРУПП

При создании композитов с большим содержанием наполнителя форму его частиц рассматривают как сферическую. Если эти частицы достаточно велики, т.е. их линейный размер превышает границу между нано- и макросостоянием, то форма частицы характеризуется точечной группой исходного кристалла, который использовался для получения частиц. В зависимости от точечной группы форма частицы будет иметь вид соответствующего полиэдра, систематизация которых приводится.

При создании композиционных материалов концентрация наполнителя обычно не превышает 50%. Однако если рабочее вещество – это наполнитель, то его концентрация может достигать значений близких к коэффициенту компактности плотнейшей упаковки. При этом размер частиц может быть достаточно большим, т.е. слой Бейлби перестает оказывать влияние, и форма частицы соответствует точечной группе кристалла. Указанные частицы обычно превышают предельные размеры наночастиц L_0 , которая рассчитывается по формуле

$$L_0 = \frac{h\sqrt{3}}{\sqrt{2m_e k}} \Theta_D^{-1/2}, \quad (1)$$

где h, k, m_e, Θ_D – соответственно постоянные Планка и Больцмана, масса электрона и температура Дебая [1]. Для одних веществ частицы с размером L являются просто мелкими кристаллами, а не наночастицами. Для других эти же значения L могут удовлетворять условию $L < L_0$.

Формы кристаллов одного и того же вещества могут быть достаточно различными. Однако каждая из плоских граней может быть описана индексами (hkl) параллельной этой грани кристаллографической плоскости. Если кристалл ограничен только плоскостями, связанными между собой группой точечной симметрии [2], то полиэдр, ограниченный этими плоскостями, называется правильной формой кристалла. Следовательно, для получения индексов граней правильных форм кристаллов – (h) – необходимо использовать формулу

$$|h|_j = C|h|, \quad (2)$$

где $|h|_j$ и $|h|$ – матрицы-столбцы индексов граней правильной формы и исходной грани соответственно, C – матричное представление точечной группы.

Если один или два индекса исходной грани равны нулю, или взаиморавны два или три индекса, полученная форма является частной. Индексы граней общих и частных простых форм кристаллов различных точечных групп, а также названия габитусных полиэдров приведены в таблицах 1–4. Число граней простой формы равно фактору повторяемости при поликристаллических рентгенодифракционных исследованиях. При записи индексов граней правильных форм использованы следующие сокращения. Если порядок индексов не меняется, то над ними или перед ними указаны лишь их знаки. Например, группа $2/m$ имеет форму (hkl) , $(\bar{h}\bar{k}l)$, $(hk\bar{l})$, $(\bar{h}k\bar{l})$ и в краткой форме



записывается в виде $\pm \begin{pmatrix} + & - & - \\ + & + & + \\ h & k & l \end{pmatrix}$ или $\pm \begin{pmatrix} + & + & - \\ + & + & + \end{pmatrix} (hkl)$. Запись $\left(\begin{smallmatrix} \bar{h} & \bar{k} & \bar{l} \\ \hline \end{smallmatrix} \right)$ означает плоско-сти с циклической перестановкой индексов, т.е. $\left(\begin{smallmatrix} \bar{h} & \bar{k} & \bar{l} \\ \hline \end{smallmatrix} \right) = (hkl), (klh), (lkh)$. Запись $\{hkl\}$ означает перестановку индексов $\{hkl\} = (hkl), (hkl), (klh), (khl), (lkh), (lkh)$. Если необходимо осуществить перестановку знаков, над индексами ставится символ S . Например, группа $4mm$ имеет форму $(hkl), (\bar{h}kl), (h\bar{k}l), (\bar{h}\bar{k}l), (khl), (\bar{k}hl), (kh\bar{l}), (\bar{k}h\bar{l})$, что тождественно записи $\left(\left\{ \begin{smallmatrix} s \\ hk \\ \hline \end{smallmatrix} \right\} l \right)$.

Таблица 1 – Общие правильные формы кристаллов и кристаллографические индексы их граней (hkl)

№	ТГ(n)	Многогранник	$(hkl)_\Phi$
1	1(1)	моноэдр (педион)	(hkl)
2	$\bar{1}$ (2)	пинакоид	$\pm (hkl)$
3	2(2)	диэдр (осевой)	$\begin{pmatrix} - & - & + \\ + & + & + \\ h & k & l \end{pmatrix}$
4	m(2)	диэдр планальный (плакательный)	$\begin{pmatrix} + & + & - \\ + & + & + \\ h & k & l \end{pmatrix}$
5	2/m(4)	ромбическая призма	$\pm \begin{pmatrix} - & - & - \\ + & + & + \\ h & k & l \end{pmatrix}$
6	222(4)	ромботетраэдр	$\begin{matrix} + & - & - \\ - & + & + \\ - & - & + \\ + & + & + \end{matrix} (hkl)$
7	mm2(4)	ромбическая пирамида	$\left(\left(\begin{smallmatrix} s \\ hk \\ \hline \end{smallmatrix} \right) l \right)$
8	mmm(8)	ромбическая бипирамида	$\begin{matrix} s \\ (hk)l \end{matrix}$
9	3(3)	тригональная пирамида	R) $(\sqrt{hkl} \downarrow)$ H) $(\sqrt{hki} \downarrow l)$
10	$\bar{3}$ (6)	ромбоэдр	R) $(\pm \sqrt{hkl} \downarrow)$ H) $(\pm \sqrt{hki} \downarrow l)$
11	3m(6)	дитригональная пирамида	R) $\{hkl\}$ H) $(\pm \sqrt{hki} \downarrow l)$
12	32(6)	тригональный трапецоэдр	R) $(\pm \sqrt{hkl} \downarrow)$ H) $(\sqrt{hki} \downarrow \pm l)$
13	$\bar{3}m$ (12)	тригональный скаленоэдр	H) $\pm \{hkl\}$ H) $(\sqrt{hki} \downarrow l) u (\sqrt{hik} \downarrow \bar{l})$
14	4(4)	тетрагональная пирамида	$(\pm (hk)l) u (\pm (\bar{k}h)l)$
15	$\bar{4}$ (4)	тетрагональный тетраэдр	$(\pm (hk)l) u (\pm (k\bar{h})\bar{l})$
16	4/m(8)	тетрагональная бипирамида	$((hk) \pm l) u ((\bar{k} \bar{h}) \pm l)$



Продолжение таблицы 1

17	4mm(8)	дитетрагональная пирамида	$\{hk\}l$
18	422(8)	тетрагональный трапецоид	$(\pm(hk)l), (\pm(\bar{k}h)l)$ $(\pm(\bar{h}k)\bar{l}), (\pm(kh)\bar{l})$
19	$\bar{4}2m(8)$	тетрагональный скаленоэдр	$((hk)l)u((kh)\bar{l})$
20	4/mmm (16)	дитетрагональная бипирамида	$\left\{ \begin{matrix} \{hk\} \\ \pm 1 \end{matrix} \right\}$
21	6(6)	гексагональная пирамида	$(\pm\sqrt{hki}_l)$
22	$\bar{6}(6)$	тригональная бипирамида	$(\sqrt{hki}_l \pm 1)$
23	6/m(12)	гексагональная бипирамида	$(\pm\sqrt{hki}_l \pm 1)$
24	622(12)	гексагональный трапецоид	$(\pm\sqrt{hki}_l), (\pm\sqrt{hki}_l)$
25	6mm(12)	дигексагональная пирамида	$(\pm\sqrt{hki}_l)$
26	$\bar{6}m2(12)$	дитригональная бипирамида	$(\sqrt{hki}_l \pm 1) u (\sqrt{\bar{h}\bar{k}\bar{l}}_l \pm 1)$
27	6/mmm(24)	дигексагональная бипирамида	$\{hki\} \pm 1$
28	23(12)	пентагон-тритетраэдр	- - + - + $\lceil hkl$ + - - + + +
29	m3(24)	Дидодекаэдр	(\sqrt{hkl}_l)
30	$\bar{4}3m(12)$	Гексоктаэдр	- - + - + - $\{hkl\}$ + - - + + +
31	432(24)	пентагон-триоктаэдр	$\pm \left(\begin{matrix} - - + \\ - + - \\ + - - \\ + + + \end{matrix} \right) \lceil hkl$
32	m3m(48)	гексатетраэдр	$\{hkl\}^s$

** ТГ – точечная группа в международном обозначении и ее порядок (n), которому равно число граней. Сингонии отделены друг от друга горизонтальными линиями

Для гексагональных и тригональных кристаллов в гексагональной установке (H -установке) осей вводится индекс $i = -h - k$. В этом случае, например, записи $(hki)l$ для группы 3 и $\{hki\}l$ для группы $3m$ означают соответственно $(h, k, (-h-k), l)$, $(h, (-h-k), k, l)$, $((-h-k), k, h, l)$ и $(h, k, (-h-k), l)$, $(h, (-h-k), k, l)$, $(k, h(-k-h), l)$, $(k, (-h-k), h, l)$, $((-h-k), h, k, l)$, $((-h-k), k, h, l)$.

Если в качестве исходной грани взять плоскость (001), то для полярных кристаллов с единичным направлением вдоль оси Z простая форма – моноэдр, для неполярных – пинакоид. В этом легко убедиться, если взять индексы граней соответствующих общих форм и подставить значения $h = k = 0$.

В тригональных кристаллах при установке оси 3 параллельно (111) (R – установка) для получения пинакоида (группы $\bar{3}, 32, \bar{3}m, \bar{3}, 32, \bar{3}m$) или моноэдра (группы $3, 3m$) в качестве исходной необходимо взять плоскость (111).

Общие простые формы приведены на рисунке 1 соответствующими многогранниками и индексами граней при исходной грани с индексами (hkl) . Изображения мно-



гогранников общей правильной формы для всех 32 точечных групп приведены в таблице 2, причем эти многогранники будут сохранять свой вид для любых неравных друг другу hkl , но при этом могут меняться их геометрические размеры, например, будет увеличиваться или уменьшаться их высота для точечных групп с единичным направлением, которые относятся по всем сингониям, кроме кубической.

Таблица 2 – Многогранники общих правильных форм кристаллов

Сингонии	Многогранники						
Триклинная, моноклиная	 Моноэдр педион	 Пинакоид	 Диэдр осевой	 Диэдр безосный	 Призма		
Ромбическая			 Тетраэдр	 Пирамида	 Бипирамида		
Тригональная	 Пирамида	 Ромбоэдр	 Трапецоэдр	 Дитриг. пирамида	 Скаленоэдр		
Тетрагональная	 Пирамида	 Бипирамида	 Трапецоэдр	 Дитетрагон пирамида	 Дитетрагон бипирамида	 Тетраэдр	 Скаленоэдр
Гексагональная	 Пирамида	 Бипирамида	 Трапецоэдр	 Дигексаген пирамида	 Дигексаген бипирамида	 Тригональная бипирамида	 Дитригональная бипирамида
Кубическая	 Пентаготритетраэдр	 Дододекаэдр	 Пентагонтриоктаэдр	 Гексатетраэдр	 Гексоктаэдр		



Реальные кристаллы могут иметь грани, относящиеся к разным формам, когда их грани соответствуют кристаллографическим плоскостям с различными индексами, что и приводит к различным формам одних и тех же кристаллов. Кроме того, на форму кристаллов влияют не только симметрия их решетки, но и характер взаимодействия между атомами. Если, например, в кристалле атомы расположены слоями, причем в пределах слоя межатомная связь намного сильнее, чем связь между слоями, как в кристаллах графита и слюды, то, несмотря на их различные сингонии (графит относится к гексагональной, а слюда – к моноклинной сингонии), кристаллы у этих веществ имеют одинаковую форму тонких пластинок – чешуек. У этих кристаллов атомы в слоях связаны валентными силами, а межслоевое воздействие имеет Ван-дер-Ваальсову природу.

При диспергировании кристалла, когда поверхностные силы не играют существенную роль в формировании габитуса частицы, продукты диспергирования имеют форму полиэдров. Кристалл при его механическом дроблении ограничивается плоскостями с наибольшей ретикулярной плоскостью, т.е. с наибольшим числом атомов на единицу поверхности.

В таблице 3 приведены формулы симметрий каждой из 32 точечных групп кристаллов, здесь же указан их симметрический комплект, а также международное обозначение точечной группы. Так как в теоретической физике, в структурной химии и в других разделах науки до сих пор сохраняется обозначения точечных групп по Шенфлису, то на рисунке приведены эти обозначения.

Таблица 3 – Комплексы элементов симметрии 32 точечных групп и их международные обозначения


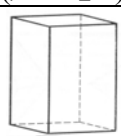
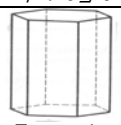
Сингония	Ступени симметричности						
	Полярная	Центральная	Аксиальная	Планиальная	Планиаксиальная	Инверсионная	Инверс-планиальн.
Моноклин-триклинная	L_1 $C_1 - 1$	C $C_i - \bar{1}$	L_2 $C_2 - 2$	P $C_s - m$	L_2, P $C_{2h} - 2/m$		
Ромбическая			$3L_2$ $D_2 - 222$	$L_2, 2P$ $C_{2v} - mmm$	$3L_2, 3PC$ $D_{2h} - mmm$		
Тригональная	L_3 $C_3 - 3$	L_3, C $C_{3i}(S_6) - \bar{3}$	$L_3, 3L_2$ $D_3 - 32$	$L_3, 3P$ $C_{3v} - 3m$	$L_3, 3L_2, 3P$ $D_{3d} - \bar{3}m$		
Тетрагональная	L_4 $C_4 - 4$	L_4, P $C_{4h} - 4/m$	$L_4, 4L_2$ $D_4 - 422$	$L_4, 4P$ $C_{4v} - 4mm$	$L_4, 4L_2$ $D_{4h} - 4/mmm$	$4PC, L_4$ $S_4 - \bar{4}$	$L_4, 2L_2, 2P$ $D_{2d} - \bar{4}2m$
Гексагональная	L_6 $C_6 - 6$	L_6, P $C_{6h} - 6/m$	$L_6, 6L_2$ $D_6 - 622$	$L_6, 6P$ $C_{6v} - 6mm$	$L_6, 6L_2, 7PC$ $D_{6h} - 6/mmm$	L_6, P $C_{3h} - \bar{6}$	$L_6, 3L_2, 4PC$ $D_{3h} - \bar{6}m2$
Кубическая	$4L_3, 3L_2, P$ $T - 23$	$4L_3, 3L_2, 3PC$ $T_h - m\bar{3}$	$3L_4, 4L_2, 6L_2$ $O - 432$	$3L_4, 4L_2, 6P$ $T_d - \bar{4}3m$	$3L_4, 4L_2, 6L_2, 9PC$ $O_h - m\bar{3}m$		



Рисунок – Пояснения к таблице 3

Если в качестве исходной плоскости для кристаллов с единичным направлением взят боковой пинакоид (плоскости $(h00)$ или $(k00)$), то наряду с рассмотренным возникают некоторые новые простые формы, которые для кристаллов с единичным направлением приведены в таблице 4. Если правильная форма встречалась ранее, то указан ее номер в предыдущей таблице.

Таблица 4 – Частные простые формы (грань $(h00)$)

№ фор-мы	Группа	Число граней	Многогранник	Индексы граней
См. № 1	1, m	1	моноэдр	$(h00)$
См. № 2	2, $\bar{1}$, 2/m, mm2, 222, mmm	2	пинакоид	$\pm (\pm h00)$
33	3	3	тригональная призма	 $(\bar{1} h0\bar{h} \mid 0)$
34	4, 4/m, 4mm, 422, 4/mmm, $\bar{4}$, $\bar{4}2m$	4	тетрагональная призма	 $(\pm \sqrt{h} 0 \mid 0)$
35	6, $\bar{3}$, 6m, 3m, 6mm, 32, 622, $\bar{3}m$, 6/mmm, $\bar{6}$, $\bar{6}m2$	6	гексагональная призма	 $(\bar{1} h0\bar{h} \mid 1)$

При исходной грани $(0k0)$, когда $h \neq k$, возникают новые формы кристаллов с единичным направлением (таблица 5). Исходные грани типа $(h0l)$, $(0kl)$ или $(hh0)$ для кристаллов с единичным направлением не приводят к возникновению новых форм.

В кристаллах без единичного направления (кубическая сингония) наряду с общими простыми формами возможны частные при исходных плоскостях:

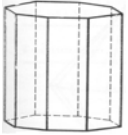


$(hhh), (h00) \equiv (0k0) \equiv (00l)$ $(hk0) \equiv (h0l) \equiv (0kl)$, $(hh0) \equiv (h0h) \equiv (0kk)$. Очевидно, что частные простые формы могут быть получены из общих простых форм кристаллов соответствующих точечных групп при подстановке индексов исходной грани частной формы.

Для тригональных кристаллов в таблицах 4 и 5 приведена только гексагональная установка осей: $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$, $a = b, c$. Получить индексы граней чистых правильных форм тригональных кристаллов при R -установке координационных осей можно на основании таблицы 1, взяв за исходную грань (hhh) .

При исходной плоскости (hhl) в зависимости от величины индексов h и l полиэдры, изображающие простую форму кубических кристаллов имеют разный вид, хотя индексы граней формы одинаковы. Различие полиэдров при исходной плоскости (hkl) для случаев $h < l$ и $h > l$ можно доказать, анализируя грани форм, приведенных в табл. 6.

Таблица 5 – Частные простые формы кристаллов с единичным направлением (исходная грань $(hk0)$)

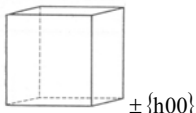
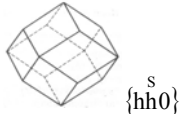
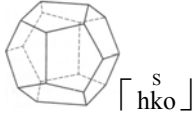

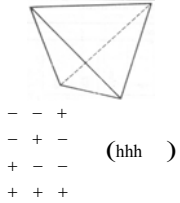

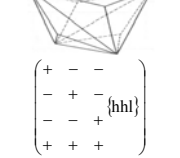
№ формы	Группа	Число граней	Многогранник	Индексы граней
См. № 1	1, m	1	моноэдр	$(hk0)$
См. № 2	2, $\bar{1}$, $2/m$, mmm , $mm2$	2	пинакоид	$\pm (hk0)$
См. № 33	3, $\bar{6}$,	3	тригональная призма	$(\sqrt{3} h k i / 0)$
См. № 34	4, $4/m$, $\bar{4}$	4	тетрагональная призма	$(h^s k^s 0), (k^s h^s 0)$
См. № 35	6, $\bar{3}$, $6/m$	6	гексагональная призма	$(\pm \sqrt{3} h k i / 0)$
36	$32, 3m, \bar{6}m2$	6	Дитригональная призма	 $(\{hki\}0)$
37	$4mm, 422, 4/mmm, \bar{4}2m$	8	дитетрагональная призма	 $(\left\{ \begin{smallmatrix} s \\ hk \end{smallmatrix} \right\} 0)$
38	$6mm, 622, \bar{3}m, 6/mmm$	12	дигексагональная призма	 $(\pm \sqrt{3} h k i / 0)$ $u (\pm \sqrt{3} h i k / 0)$



Рассмотрим фигуру, полученную при сечении полиэдров, соответствующих простым формам кристаллов без единичного направления, координатной плоскостью, например, $Z=0$. Легко убедиться, что при $h < l$ в сечении лежит дитерагон, а при $h > l$ – тетрагон. Очевидно, что это может выполняться лишь при различии полиэдров для условий $h < l$ или $h > l$.




Монокристаллы с различными размерами не обязательно ограничены плоскостями одной формы. Например, для группы $m\bar{3}$, 432 , $m\bar{3}m$ возможно сочетание граней октаэдра и граней куба. Кристалл имеет форму кубоктаэдра, которая не является простой, ибо ее грани образуют два семейства симметрично связанных друг с другом плоскостей. Грани кубоктаэдра имеют индексы $\left\{ \left(\begin{smallmatrix} s \\ k k k \end{smallmatrix} \right) \right\}, \left\{ \left(\begin{smallmatrix} s \\ h 0 0 \end{smallmatrix} \right) \right\}$, где k и h принимают произвольные значения, но так, чтобы грани октаэдра и куба не пересекались.

Таблица 6 – Частные простые формы кристаллов без единичного направления

№ формы	Индексы исходной плоскости	Группа	Число граней	Многогранник	Индексы граней
39	(h00)	$23, m\bar{3}, \bar{4}3m, 432, m\bar{3}m$	6	куб	
40	(hh0)	$23, m\bar{3}, \bar{4}3m, m\bar{3}m$	12	ромбододекаэдр	
41	(h00)	$23, m\bar{3}$	12	пентагондодекаэдр	
42	(hk0)	$\bar{4}3m, 432, m\bar{3}m$	24	тетрагексаэдр	
43	(hhh)	$23, \bar{4}3m$	4	тетраэдр	
44	(hhh)	$m\bar{3}, 432, m\bar{3}m$	8	октаэдр	
45	(hhl) $h < l$	$23, \bar{4}3m$	12	тригонтри-тетраэдр	



Продолжение таблицы 6

46	(hhl) $h > 1$	23, $\bar{4}3m$	12	тетрагон- тригетраэдр	 $\begin{pmatrix} + & - & - \\ - & + & - \\ - & - & + \\ + & + & + \end{pmatrix} \{hhl\}$
47	(hhl) $h < 1$	$m\bar{3}$, 432, $m\bar{3}m$	24	тригон- триоктаэдр	 $\begin{matrix} s \\ \{hhl\} \end{matrix}$
48	(hhl) $h > 1$	$m\bar{3}$, 432, $m\bar{3}m$	24	тетрагон- триоктаэдр	 $\begin{matrix} s \\ \{hhl\} \end{matrix}$

Если формирование частицы идет, например, вокруг групп из четырех атомов (тетраэдра) по правилу «жадного алгоритма», то переход к монокристаллу с большими размерами может быть затруднен. Именно этим можно объяснить получение квазикристаллов при резком охлаждении расплава, а также фуллеренов, сохраняющих элементы структуры графитовой сетки. Если считать, что влияние поверхности распространяется на глубину r_s , то отношение объема поверхностного слоя к объему всей частицы равно

$$C = \left[1 - \left(1 - \frac{r_s}{r_\rho} \right)^3 \right], \quad (3)$$

где r_ρ – радиус частицы, если ее форма близка к сферической. Область с размерами $0 < r_c \leq r_\rho - r_s$ – это ядро наночастицы, сферический слой $r_c < r \leq r_\rho$ – модифицированный поверхностный слой. При $r_c = r_\rho$ значение $C = 1$ (частица полностью подвержена воздействию поверхности), при $r_c \ll r_\rho$ – $C = 0$. В этом случае влияние поверхности отсутствует.

Пусть n – линейная атомная плотность, равная $n = d_a^{-1}$, где d_a – диаметр атома, то $r_s = Nd_a^{-1}$, где N – число атомов по направлению от границы наночастицы к ее центру, на которые распространяется влияние поверхности. Так как размеры атомов примерно одинаковые ($d_a \approx 2,0 \text{ \AA}$), то при фиксированной величине L_n получается фиксированное значение N независимо от состава наночастицы. В то же время силы связей между различными атомами различны. Значит величина L_n не может быть единой для наночастицы любой природы.

При учете уравнения (1) с граничными условиями (2) появляется возможность использовать блоховские решения уравнения Шредингера. Однако условия (2), приемлемые для больших кристаллов и являющиеся, по сути дела, условиями Борна-Кармана, для нанокристаллов непригодны, так как модель бесконечно высокого энергетического граничного барьера не приемлема, а куб периодичности выделить невозможно. Вне нанокристалла существует ненулевая волновая функция вида

$$\Psi' \sim \exp(-q \cdot r), \quad (4)$$



где волновой вектор q зависит от работы выхода электрона, которая для наночастиц может существенно отличаться от значений для крупных объектов. Следовательно,

$$\Psi(r) = \begin{cases} U(r)\exp(ikr) & \text{ïðè } |r| \leq |r_n| \\ \exp(-qr) & \text{ïðè } |r| > |r_n| \end{cases}, \quad (5)$$

где r_n – радиус наночастицы сферической формы, т.е. $r_n = 0,5L_n$. Условие (5) обуславливает появление дополнительных поверхностных уровней, но не позволяет получить количественные решения ввиду невозможности экспериментального определения требуемых параметров. В первую очередь, это связано с видом функции $U(r)$, которая при наличии ядра и модифицированной зоны может иметь очень сложный вид, а также с неопределенностью работы выхода.

На прошедшем в сентябре 2003 года в Санкт-Петербургском госуниверситете XV Международном совещании по рентгенографии и кристаллохимии минералов обсуждался вопрос о геометрических размерах наночастиц. Наибольшее внимание было уделено возможной связи между размерами наночастиц (L_n) и областью когерентности (g). Существенным доводом против наличия такой связи является зависимость g от длины волны излучения, внешнего по отношению к наночастице.

На наш взгляд, наиболее приемлемым методом оценки предельных размеров наночастиц является использование динамических характеристик вещества наночастицы с учетом параметров этого вещества в большом объеме. При анализе наночастиц невозможно пренебречь влиянием относительно большого количества атомов с некомпенсированными связями, находящимися в поверхностных слоях наночастицы в области $r_c < r \leq r_p$. Энергия межатомных связей может принимать другие, не совпадающие с объемным значения и в ядре частицы.

Резонансная частота однородных атомных колебаний зависит от геометрических размеров образца. Если длина волны плазмона (или фонона), характеризующего колебания электронного типа, становится соизмеримой с размерами образца, то свойства частицы будут отличаться от свойств аналогичного массивного вещества. Влияние поверхностных энергетических слоев на динамические параметры, например, на величину резонансной частоты при прохождении квазиимпульса (w_R) (предположим, фонона), приведет к тому, что эта величина будет зависеть от размера квазичастицы r_p . Эту зависимость можно представить в виде

$$w_R = w_0 + A \exp(-r_p), \quad (6)$$

где A – коэффициент, зависящий от природы проходящего через частицу возбуждения, w_0 – частица в объемном веществе, когда влияние поверхности можно не учитывать. Если считать, что величина w_R измеряется с ошибкой δ_w , то размер наночастицы (L_n) определяется условием

$$L_n = \ln \frac{A}{\delta_w}. \quad (7)$$

Формула (7) носит иллюстративный характер, так как для определения численных значений L_n необходимо, наряду с величиной δ_w , знать величину параметра A , который может меняться в зависимости от формы частицы, от направления распространения возбуждения, морфологии поверхности и многих других факторов.



Для описания динамических свойств наночастиц уместно, на наш взгляд, аналогия с описанием свойств кристаллических веществ [8]. Для них существует определенное значение температуры, выше которой для кристалла применимо классическое приближение, ниже – квантовое. Эта температура (Θ_D) называется температурой Дебая. Условие

$$E_D = k\Theta_D \quad (8)$$

определяет энергию Дебая (здесь k – постоянная Больцмана).

Свойства материалов можно разделить на решеточные и электронные, причем электронные свойства носят более общий характер, и даже в «чисто» решеточных свойствах (например, в диффузионных) особенности электронного строения оказывают свое влияние. Поэтому для оценки предельного размера наночастицы (L_n) можно анализировать поведение электронов.

Рассмотрим изотропную частицу кубической формы. Если P_D – дебаевский импульс с компонентами $P_{i(i=x,y,z)} = P$, то

$$P_D = P\sqrt{3}. \quad (9)$$

Дебаевский импульс связан с дебаевской энергией условием:

$$P_D = \sqrt{2E_D \cdot m_e} = \sqrt{3P}, \quad (10)$$

где m_e – масса электрона.

Если (квази)импульс квазичастицы возбуждения равен дебаевскому, а размер частицы равен L_n , то из соотношения неопределенностей получим:

$$P \cdot L_n = h, \quad (11)$$

где h – постоянная Планка.

Из условий (9–11) следует:

$$L_n = \frac{h\sqrt{3}}{\sqrt{2m_e k}} \Theta_D^{1/2} = 22,9 \cdot 10^{-8} \Theta_D^{1/2} = \frac{230}{\sqrt{\Theta_D}} [\text{нм}]. \quad (12)$$

Характеристическая температура по определению равна:

$$\Theta_D = \frac{\hbar\omega_D}{k}, \quad (13)$$

где $\hbar\omega_D$ – дебаевский квант, $\hbar = h/2\pi$. Если энергия возбуждения $E_k > k\Theta_D$ ($T > \Theta_D$), то в кристалле начинают возбуждаться все возможные моды, если $T < \Theta_D$, то происходит «вымерзание» мод, т.е. статистика квазичастиц становится квантовой. В наночастицах влияние поверхности в формальном отношении может рассматриваться по аналогии с термическим (или иным) воздействиям. Это не означает, что при $L > L_n$ в частице «работают» только классические механизмы. Это лишь означает что, при $L > L_n$ размерные эффекты несущественны, а при $L < L_n$ они проявляют свое влияние.

Температура Дебая в основном лежит в интервале от 90 K (94,5 K у Pb) до 1900 K (1850 K у алмаза). Для алмаза – $L_n = 5 \text{ нм}$, для Pb – $L_n = 24 \text{ нм}$. Следовательно, можно считать, что «типичные» линейные размеры наночастиц находятся в интервале: $5 \text{ нм} < L < 25 \text{ нм}$. Если принять, что размер атома составляет $d \approx 2 \text{ \AA}$, то число



атомов вдоль линейного сечения наночастицы лежит в интервале от 25 до 120 атомов, а число атомов в наночастице предельного размера колеблется в зависимости от материала в интервале $10^3 < N < 4 \cdot 10^6$.

Температура Дебая, как известно, определяется условием:

$$k\Theta_D = \hbar\omega_D = \hbar\nu(6\pi^2n)^{1/3}, \quad (14)$$

где n – средняя плотность атомов (число атомов в единице объема), ν – средняя скорость звука в веществе, ω_D – предельная частота упругих колебаний.

Так как температура Дебая для нанообъектов может варьировать, то для определения L_n можно брать табличное Θ_D для массивных образцов. В этом случае для расчета величины L_n различных по составу наночастиц будет использована одна методика. Так как число атомов в наночастице может быть рассчитано, то можно найти для нее и форму, и размеры для условий шаровых упаковок, основными из которых являются гранецентрированная кубическая (ГЦК), гексагональная плотная упаковка (ГПУ) и упаковка по «жадному» алгоритму (ЖА). В ГЦК-решетке, характеризующейся расположением слоев ABCABCABC..., т.е. атомные слои повторяются через два на третий, координационные полиэдры соответствуют изотропному состоянию и граничная координационная сфера определяет наиболее устойчивое состояние наночастицы. Если в граничной координационной сфере находится всего один или два атома, то они будут «сорваны» при каком-либо внешнем воздействии или за счет флуктуации их теплового движения и перейдут в частицу, где есть вакансии на внешней координационной сфере. Следовательно, величины N играют для наночастицы роль своеобразных «магических чисел», причем их значения зависят от характера упаковки атомов.

Это правило должно выполняться для наночастиц любого типа, а не только для ГЦК, ГПУ ЖА-структур. В ГПУ-решетках атомы (шары) расположены по слоям типа ...ABABAB...; в структурах, сформированных по ЖА, слоистость расположения атомов отсутствует, и такие частицы устойчивы лишь до определенного размера. Естественно, форма наночастиц для веществ, включающих в составе различные атомы или молекулы, может иметь другой вид. В таких частицах значения L_n будут зависеть от направления, если частица характеризуется анизотропными динамическими свойствами, т.е. возможны случаи, когда частица может характеризоваться наносвойствами не по всем трем направлениям (xyz), а по одному (пластинчатые габитусы) или по двум (игольчатые габитусы) направлениям.

Радиус координационных сфер в ГЦК-структуре при диаметре атома (шара) $d = 1$ всегда равен

$$R = \sqrt{n}, \quad (15)$$

где n – номер координационной сферы. Для ГПУ-структур условие (15) не выполняется. Для того, чтобы R^2 было целым числом, для обеих рассматриваемых структур диаметр шара в упаковке можно принять равным $d = \sqrt{3}$.

Указанные полиэдры общих и частных правильных форм применимы только для монокристаллических частиц с размерами, превышающими размерную границу между нано- и макросостояниями. Эти размеры могут находиться в микронных диапазонах. Если частица представляет собой сросток более мелких блоков или кристаллитов, у которых



слой Бейлби начнет оказывать свое влияние, то форма частицы может отличаться своим габитусом от правильных форм, соответствующих данной точечной группе кристалла. Следовательно, композиты даже с одинаковыми размерами и концентрациями наполнителей могут иметь разные свойства в зависимости от строения частиц этих наполнителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микросенсорика (материалы, элементная база) : сб. ст. ; под ред. В.В. Болотова. – Омск : Изд-во ОмГУ. – 2002. – С. 5–70.
2. Вайнштейн, Б.К. Современная кристаллография : в 4 т. / Б.К. Вайнштейн. – М. : Наука. – 1979. – Т.1. – 576 с.

V.A. Liopo, A.V. Sabutz, S.S. Sekerzhitsky. Habit of Crystal Particles of Different Point Groups

While producing composites with high content of filling compound the form of its particles is considered as spherical. If these particles are sufficiently large, i.e. their linear size exceeds boundary between nano- and macrostate, the form of particle is characterized by point group of initial crystal, which is used for crystal production. Depending on point group the form of particles will be of the form of appropriate polyhedrons, systematization of which is presented.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 24.09.2010



УДК 524.354.6-33

В.С. Секержицкий

ОБ УРАВНЕНИИ СОСТОЯНИЯ СВЕРХПЛОТНОГО ВОДОРОДА В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Получены уравнения состояния для твердой и газообразной фаз электронно-протонного вещества в сильном магнитном поле при различных значениях массовой плотности. Используется модель крайне вырожденных и невырожденных идеальных ферми-газов.

1. Водород, как известно, является основным «строительным материалом» большинства звезд, и его исследование имеет важное значение для астрофизики. Плотность звездного вещества в ряде случаев весьма значительна (на несколько порядков превышает плотность воды). Согласно [1], при плотностях $\rho > 0,05 \text{ г/см}^3$ происходит полная ионизация водорода. При этом совокупность электронов представляет собой свободный ферми-газ, который в определенных диапазонах плотностей и температур можно считать крайне вырожденным и идеальным, а протоны (в зависимости от значений плотности и температуры) образуют либо некоторым образом упорядоченную структуру со свойствами твердого тела, либо также ферми-газ. В последнем случае речь идет об электронейтральной электронно-протонной плазме, для теоретического описания свойств которой наиболее часто применяется модель идеальных ферми-газов [1].

С повышением плотности электронно-протонного вещества возрастают кинетические энергии его компонентов, причем энергии электронов могут достигнуть релятивистских значений, и электронно-протонное вещество при этом становится нестабильным в отношении рождения нейтронов – начинается процесс нейтронизации вещества [1]. В модели упорядоченной структуры (решетки) вещества с повышением плотности уменьшаются также равновесные расстояния между протонами, что ведет к росту вероятности их столкновений и синтеза, т.е. в веществе за счет туннельного эффекта протекают пикноядерные реакции, причем тем интенсивнее, чем больше плотность вещества [1].

В [2] было отмечено, что при плотностях, превышающих 10^5 г/см^3 , скорость вероятности пикноядерных реакций синтеза водорода (протонов) достаточна для того, чтобы водород астрофизического объекта полностью «выгорел» за время $\sim 10^8$ лет. На этом основании был сделан вывод о том, что при постепенном сжатии звезды водород превращается в другие элементы (гелий или более тяжелые) раньше, чем электроны приобретут релятивистские энергии и начнется нейтронизация.

Заметим, что работа [2] была опубликована в 1957 году, когда возможность быстрого коллапса массивной звезды, приводящего к вспышке Сверхновой и образованию пульсара, была еще детально не изучена. При катастрофически быстром сжатии плотности, превышающие 10^6 г/см^3 , достигаются сравнительно быстро, и реакции нейтронизации, характерное время которых исчисляется минутами, должны происходить раньше, чем медленные подбарьерные пикноядерные реакции синтеза. Обоснование последнего утверждения дано нами в [3].

Таким образом, изучение свойств сверхплотного водорода представляет определенный интерес для физики плотных астрофизических объектов. Возможность существования в веществе таких объектов сильных магнитных полей делает актуальной задачу учета их влияния на характеристики сверхплотного водорода и происходящие в нем процессы.



В [4] была проведена предварительная оценка вероятности столкновения двух ядер в плотном замагниченном водороде с учетом их взаимодействия с постоянным и однородным магнитным полем, в [5] была проведена оценка влияния сильного магнитного поля на скорость пикноядерной реакции синтеза протонов. Было показано, что при движении протонов под углом к направлению вектора индукции сильного магнитного поля скорость вероятности их столкновения и синтеза может существенно (на несколько порядков) уменьшаться. Этот вывод качественно совпадает с результатами [6], полученными в рамках весьма грубой модели потенциального барьера [7].

Отметим, что исследованные нами в [8] процессы «замораживания» сверхсильным магнитным полем реакций нейтронизации и смещения порога нейтронизации в сторону более высоких плотностей менее интенсивны, чем отмеченное уменьшение скорости вероятности синтеза ядер. Поэтому вывод о возможности существования протонов в течение времени, достаточного для протекания реакций нейтронизации, справедлив и для сильно замагниченного вещества.

При выводе уравнения состояния сверхплотного замагниченного водорода необходимо учитывать возможность существования как твердой, так и плазменной фаз электронно-протонного вещества. В [3] нами были сформулированы оценочные критерии устойчивости фазы твердого тела в замагниченном электронно-протонном веществе и показано, что при низких температурах сильное магнитное поле уменьшает диапазон значений массовой плотности, при которых фаза твердого тела является устойчивой и не переходит в плазменную фазу. Мы рассмотрим здесь уравнения состояния ионизованного замагниченного водорода при различных значениях массовой плотности для модели ферми-газов всех компонентов (приближенное описание плазменной фазы) и модели «неподвижных» протонов и ферми-газов остальных компонентов (приближенное описание фазы твердого тела). Частично эти вопросы обсуждались нами в [3].

2. Рассмотрим сначала плазменную фазу. В рамках модели ферми-газов возможна реализация трех состояний ионизованного водорода: 1) нерелятивистские электронный и протонный газы; 2) релятивистский электронный и нерелятивистский протонный газы; 3) релятивистский (ультрарелятивистский) электронный и нерелятивистские протонный и нейтронный газы (причем при плотности, заметно превышающей порог нейтронизации, нейтронов существенно больше, чем протонов). Для каждого указанного выше случая в предположении крайнего вырождения и идеальности ферми-газов мы получим уравнение состояния вещества (водорода) в магнитном поле, способном оказывать квантующее действие на движение заряженных фермионов.

При плотности вещества $\rho \leq 10^6$ г/см³ (концентрации протонов $n_p \leq 10^{30}$ см⁻³) электроны нерелятивистские. В этом случае давление и плотность энергии вещества связаны с соответствующими характеристиками его электронного и протонного компонентов соотношениями:

$$P = P_p + P_e; \quad w = w_p + w_e, \quad (1)$$

где (см. подраздел 2.2 в [3], где даны ссылки на соответствующие оригинальные работы)

$$P_q(B) = P_q(0) \frac{R_{5/2}(x_q)}{R_{3/2}^{5/3}(x_q)}, \quad (2)$$



$$w_q(B) = m_q c^2 n_q + P_q(0) \frac{2,5x_q R_{3/2}(x_q) - R_{5/2}(x_q)}{R_{3/2}^{5/3}(x_q)}, \quad (3)$$

$$P_q(0) = \frac{2}{5} n_q \zeta_q(0), \quad \zeta_q(0) = \frac{(3\pi^2)^{2/3} \hbar^2}{2m_q} n_q^{2/3}, \quad (4)$$

$$x_q = \frac{\zeta_q(B)}{\mu B}, \quad \zeta_q(B) = \zeta_q(0) \frac{x_q}{R_{3/2}^{2/3}(x_q)}, \quad (5)$$

$$R_a(x_q) = a \sum_{n=0}^l \left((x_q - 2n - 1 - \sigma_q)^{a-1} + (x_q - 2n - 1 + \sigma_q)^{a-1} \right), \quad a = 3/2, 5/2, \quad (6)$$

B – индукция магнитного поля, n_q – концентрация заряженных фермионов, m_q – масса фермиона, $q = e, p$ – индексы, соответствующие электронному и протонному газам, $\zeta_q = \chi_q - m_q c^2$, χ_q – химический потенциал, $\sigma_q = \mu_q / \mu$, μ_q – собственный магнитный момент фермиона (для электронов μ – магнетон Бора μ_B , для нуклонов μ – ядерный магнетон μ_N), n – номер квантового уровня Ландау. В силу свойств функции распределения Ферми–Дирака суммирование в (6) ведется до тех пор, пока выражение под знаком соответствующего радикала неотрицательно. Для электронейтральной среды $n_p = n_e$ и

$$R_{3/2}(x_e) = R_{3/2}(x_p) = \frac{3\pi^2 \hbar^3 n_p}{(2m_p \mu_N B)^{3/2}}. \quad (7)$$

Тогда уравнение состояния крайне вырожденного замагниченного электронно-протонного вещества можно представить в виде:

$$w = K_{11} P + K_{12} P^{3/5}, \quad (8)$$

$$K_{11} = \frac{5}{2} R_{3/2}(x_p) \left(\frac{x_p}{m_p} + \frac{x_e}{m_e} \right) \left(\frac{R_{5/2}(x_p)}{m_p} + \frac{R_{5/2}(x_e)}{m_e} \right)^{-1} - 1, \quad (9)$$

$$K_{12} = \frac{5^{3/5} R_{3/2}(x_p) \cdot (m_p + m_e) c^2}{(3\pi^2 \hbar^3)^{2/5}} \left(\frac{1}{m_p} R_{5/2}(x_p) + \frac{1}{m_e} R_{5/2}(x_e) \right)^{-3/5}. \quad (10)$$

Для описания термодинамических свойств нерелятивистской водородной плазмы целесообразно вести отсчет энергии от величины энергии покоя фермиона и рассматривать лишь первое слагаемое уравнения (8). Тогда уравнение состояния



$$P = D_{11}w, \quad D_{11} = 1/K_{11}. \quad (11)$$

Для астрофізічных расчэтов, звязаных з ацэнкамі інтэгральных параметраў плотных магнітных звазд, в (8) можна пренебрыць першым слагаемым, учытваючы, што энергія покая нерэлятывісцкага ферміона многа больша яго кінетычнай энергіі. Тады ўраўненне становіцца

$$P = D_{12}w^{5/3}, \quad D_{12} = K_{12}^{-5/3}. \quad (12)$$

Ураўненне становіцца (12) запісана ў віде, удобна для непасрэднай падстаноўкі ў формулы тэорыі цяготення, з дапамогай якіх можна ўстаноўчыць, ў частнасці, ацэночную залежнасць між масай і радыусам астрофізічнай канфігурацыі з магнітным полем, як гэта было зроблена ў [1] для незамагнічнага свэрхплотнага вадарода.

Пры шчынасці рэчыва ($10^6 \leq \rho \leq 10^7$) г/см³ электроны рэлятывісцкія. Ураўненне становіцца вызначана ў гэтым выпадку наступным выразеннем:

$$w = K_{21}P + K_{22}P^{3/4}, \quad (13)$$

$$K_{21} = R_{3/2}(x_p) \cdot \left(\frac{x_p}{\sqrt{y_p}} + 2\sqrt{X_e^2 + Y_e} \right) \left(R_1 + \frac{2}{5} \frac{R_{5/2}(x_p)}{\sqrt{y_p}} \right)^{-1}, \quad (14)$$

$$K_{22} = \frac{2^{3/4} m_p c^2 R_{3/2}(x_p)}{(3\pi^2 \hbar^3 c^3)^{1/4}} \left(R_1 + \frac{2}{5} \frac{R_{5/2}(x_p)}{\sqrt{y_p}} \right)^{-3/4}. \quad (15)$$

Пры гэтым (см. падраздзел 2.4 ў [3])

$$P_e(B) = \frac{n_e}{2} \xi_e(0) \frac{R_1(X_e, Y_e)}{R_2^{4/3}(X_e)}, \quad (16)$$

$$w_e(B) = \frac{n_e}{2} \xi_e(0) \frac{2\sqrt{X_e^2 + Y_e} R_2(X_e) - R_1(X_e, Y_e)}{R_2^{4/3}(X_e)}, \quad (17)$$

$$X_e^2 = \frac{\xi_e^2(B)}{2m_e c^2 \mu_B B}; \quad Y_e = \frac{m_e c^2}{2\mu_B B}, \quad y_p = \frac{m_p c^2}{2\mu_B B}, \quad (18)$$

$$\xi_e(B) = \xi_e(0) \frac{X_e}{R_2^{1/3}(X_e)}; \quad \xi_e(0) = (3\pi^2)^{1/3} c \hbar n_e^{1/3}, \quad (19)$$



$$R_1(X_e, Y_e) = \frac{3}{2} \left(X_e \sqrt{X_e^2 + Y_e} - \frac{Y_e}{2} \ln \left| \frac{\sqrt{X_e^2 + Y_e} + X_e}{\sqrt{X_e^2 + Y_e} - X_e} \right| + \right. \\ \left. + 2 \sum_{n=1}^l \left(\sqrt{X_e^2 + Y_e} \sqrt{X_e^2 - 2n} - \frac{Y_e + 2n}{2} \ln \left| \frac{\sqrt{X_e^2 + Y_e} + \sqrt{X_e^2 - 2n}}{\sqrt{X_e^2 + Y_e} - \sqrt{X_e^2 - 2n}} \right| \right) \right), \quad (20)$$

$$R_2(X_e) = \frac{3}{2} \left(X_e + 2 \sum_{n=1}^l \sqrt{X_e^2 - 2n} \right). \quad (21)$$

Суммирование в (20) и (21) ведется до тех пор, пока выражения под соответствующими радикалами неотрицательные. При $n_p = n_e$ имеет место $R_2(X_e) = R_{3/2}(x_p)$.

Согласно [1], у порога нейтронизации концентрация протонов $n_p \approx 1,2 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-3}$ в отсутствие магнитного поля. Как показано в [8], с ростом индукции сверхсильного магнитного поля порог нейтронизации водорода смещается в сторону более высоких плотностей. При плотностях, незначительно превышающих этот порог, необходимо учитывать парциальные давления и плотности энергии электронного, протонного и нейтронного компонентов вещества. При этом для равновесного вещества

$$\chi_e + \chi_p = \chi_n; \quad (22)$$

$$P = P_p + P_e + P_n; \quad w = w_p + w_e + w_n; \quad (23)$$

электронный газ релятивистский, а нуклонные газы нерелятивистские. Для описания нейтронного газа применимы формулы вида (2–5), а также

$$R_a(x_n) = \frac{1}{2} \left((x_n - \sigma_n)^a + (x_n + \sigma_n)^a \right), \quad (24)$$

причем $(x_n - \sigma_n)^a = 0$ при $x_n \leq \sigma_n$. Записать уравнение состояния в форме, аналогичной (8) или (13), не представляется возможным: оно определяется системой параметрических уравнений.

При плотностях, существенно превышающих порог нейтронизации, основной вклад в концентрацию нуклонов среды вносят нейтроны, и уравнение состояния вещества (нейтронного газа) в магнитном поле можно записать следующим образом:

$$w = K_{31} P + K_{32} P^{3/5}, \quad (25)$$

$$K_{31} = \frac{5 x_n R_{3/2}(x_n)}{2 R_{5/2}(x_n)} - 1, \quad (26)$$

$$K_{32} = \frac{5^{3/5} m_n c^2 R_{3/2}(x_n)}{(3\pi^2 \hbar^3)^{2/5}} \left(\frac{m_n}{R_{5/2}(x_n)} \right)^{3/5}. \quad (27)$$



Полученные уравнения, описывающие состояния холодного водорода при различных значениях массовой плотности, достаточно просты и удобны для численных оценок. Наиболее простой вид они имеют в случае таких значений индукции магнитного поля, при которых все фермионы среды поляризованы.

Отметим, что применяемая нами модель крайне вырожденных идеальных ферми-газов наиболее корректна при значениях массовой плотности, близких и превышающих 10^6 г/см³, поскольку температура вырождения протонного газа при этом превышает 10^6 К, что значительно больше возможной температуры во многих реальных физических объектах, содержащих водород (электронно-протонную плазму).

3. Остановимся теперь на уравнениях состояния холодного плотного водорода, находящегося в фазе твердого тела. При плотности вещества $\rho \leq 10^6$ г/см³ (концентрация протонов $n_p \leq 10^{30}$ см⁻³) электроны нерелятивистские. Учитывая, что

$$P = P_e; \quad w = w_p + w_e, \quad (28)$$

где P_e и w_e даются выражениями (2) и (3) соответственно, а $w_p = m_p c^2 n_p$ (энергией колебательного движения протонов пренебрегаем), уравнение состояния крайне вырожденного замагнитненного электронно-протонного вещества можно представить в виде:

$$w = K_{11}P + K_{12}P^{3/5}. \quad (29)$$

Здесь

$$K_{11} = \frac{5}{2} \frac{x_e R_{3/2}(x_e)}{R_{5/2}(x_e)} - 1, \quad (30)$$

$$K_{12} = \frac{5^{3/5} R_{3/2}(x_e) \cdot (m_p + m_e) c^2 \left(\frac{m_e}{R_{5/2}(x_e)} \right)^{3/5}}{(3\pi^2 \hbar^3)^{2/5}}. \quad (31)$$

При плотности вещества ($10^6 \leq \rho \leq 10^7$) г/см³ электроны релятивистские; давление и плотность энергии электронов даются формулами (16) и (17), плотность энергии протонов $w_p = m_p c^2 n_p$. Уравнение состояния определяется в этом случае следующим выражением:

$$w = K_{21}P + K_{22}P^{3/4}, \quad (32)$$

где

$$K_{21} = 2\sqrt{X_e^2 + Y_e} \frac{R_2}{R_1} - 1, \quad (33)$$

$$K_{22} = \frac{2^{3/4} m_p c^2 R_2}{(3\pi^2 \hbar^3 c^3)^{1/4} R_1^{3/4}}. \quad (34)$$



4. Рассмотрим пример применения полученных выше уравнений состояния холодного электронно-протонного вещества в магнитном поле.

При астрофизических оценочных расчетах обычно принимается, что основной вклад в энергию нерелятивистского вещества вносит его энергия покоя. Пренебрегая в (8) первым слагаемым, запишем уравнение состояния электронно-протонного замагниченного вещества в виде (12). Из ньютоновской теории тяготения известно [1, с. 155], что для уравнения состояния вещества

$$P = Dw^{1+1/n} \quad (35)$$

приближенное соотношение между массой M и радиусом R астрофизической конфигурации имеет вид:

$$R^{3-n} \approx \frac{D^n (n+1)}{4(2nG)^n} c^{2(n+1)} M^{1-n}, \quad (36)$$

где G – гравитационная постоянная. В (36) индекс политропы $n = 3/2$. Тогда

$$R \approx \frac{5D_{12}c^{10/3}}{12G(2M)^{1/3}}. \quad (37)$$

При оценках параметров электронно-протонной астрофизической конфигурации, содержащей релятивистский электронный газ, как и в предыдущем случае, можно ограничиться вторым слагаемым (13) и использовать уравнение состояния в виде

$$P = D_{22}w^{4/3}, \quad (38)$$

где $D_{22} = K_{22}^{-4/3}$. Индекс политропы в (36) $n = 3$. Тогда из (36) и (38) получаем:

$$M \approx \sqrt{2}c^4 \left(\frac{D_{22}}{3G} \right)^{3/2}. \quad (39)$$

Радиус астрофизической конфигурации входит в (39) неявно, т. к.

$$M = \frac{4}{3}\pi R^3 \langle \rho \rangle, \quad (40)$$

где $\langle \rho \rangle$ – среднее значение плотности вещества.

При плотностях, существенно превышающих порог нейтронизации водорода, для астрофизических оценочных расчетов удобно принять

$$P = D_{32}w^{5/3}, \quad D_{32} = K_{32}^{-5/3}. \quad (41)$$

Из (36) и (41) имеем:



$$R \approx \frac{5D_{32}c^{10/3}}{12G(2M)^{1/3}}. \quad (42)$$

Индукция магнитного поля входит неявно в выражения для коэффициентов D_{12} , D_{22} , D_{32} (в сверхсильных магнитных полях эта зависимость явная, но также довольно громоздкая и потому здесь не приводится). Приведенные выше формулы позволяют (в рамках соответствующих предположений о составе и уравнении состояния вещества) проводить приближенную (качественную) оценку зависимости радиуса холодной водородной астрофизической конфигурации от ее массы и усредненного значения индукции, характерного для нее магнитного поля.

5. Как показано нами в [3], наличие внешнего магнитного поля вносит коррективы в критерий устойчивости фазы твердого тела для холодного электронно-протонного вещества и практически не оказывает влияния на соответствующий критерий для горячего вещества. Поскольку некоторые энергетические характеристики невырожденных ферми-газов зависят от индукции магнитного поля, целесообразно все же рассмотреть влияние последнего на уравнения состояния твердой и плазменной фаз горячего электронно-протонного вещества. Здесь мы ограничимся случаем нерелятивистского электронного газа.

Давление и плотность энергии невырожденного нерелятивистского газа заряженных фермионов при заданных концентрации и температуре, находящегося в постоянном и однородном магнитном поле с индукцией B , определяются соответственно выражениями (см. формулы подраздела 3.2 в [3]):

$$P_q(B) = n_q kT = P_q(0), \quad (43)$$

$$w_q(B) = n_q m_q c^2 + n_q kT \left(\frac{1}{2} + \alpha_q \operatorname{cth} \alpha_q - \sigma_q \alpha_q \operatorname{th}(\sigma_q \alpha_q) \right), \quad \alpha_q = \frac{\mu B}{kT}. \quad (44)$$

При вычислениях полагаем среду электронейтральной ($n_p = n_e$) и фиксируем значения температуры T . Из (43) следует, что давление горячего ферми-газа заданной концентрации от индукции магнитного поля не зависит.

В [3, с. 87] показано, что фаза твердого тела в горячем нерелятивистском электронно-протонном веществе может быть реализована при $T \ll 10^6$ К, если при этом массовая плотность $\rho \geq 1,86 \cdot 10^{-11} T^3$ г/см³. Давление в этом случае определяется электронным газом:

$$P = P_e = n_e kT, \quad (45)$$

а кинетическая энергия колебательного движения протона значительно меньше его энергии покоя:

$$w(B) = n_p (m_p + m_e) c^2 + n_p kT \left(\frac{1}{2} + \alpha_e \operatorname{cth} \alpha_e - \alpha_e \operatorname{th} \alpha_e \right) \approx$$



$$\approx n_p m_p c^2 + n_p kT \left(\frac{1}{2} + \frac{2\alpha_e}{\text{sh}(2\alpha_e)} \right). \quad (46)$$

Если $B \neq 0$, то $\text{sh}(2\alpha_e) > 2\alpha_e$. При $T < 10^6$ К $\frac{3}{2}kT < 2 \cdot 10^{-10}$ эрг $\ll m_p c^2 \approx 1,5 \cdot 10^{-3}$ эрг и

$$w(B) \approx w(0) \approx n_p m_p c^2. \quad (47)$$

Уравнение состояния замагниченного электронно-протонного вещества в этом случае такое же, как и в отсутствие магнитного поля:

$$P = \frac{kT}{m_p c^2} w. \quad (48)$$

Для любых значений массовой плотности, соответствующих электронно-протонному веществу, при $T > 10^6$ К имеет место плазменная фаза. Тогда в рамках модели идеальных ферми-газов давление

$$P = P_p + P_e = 2n_p kT, \quad (49)$$

а плотность энергии

$$w = w_p + w_e = n_p (m_p + m_e) c^2 + n_p kT \left(1 + \alpha_p \text{cth} \alpha_p - \sigma_p \alpha_p \text{th}(\sigma_p \alpha_p) + \alpha_e \text{cth} \alpha_e - \alpha_e \text{th} \alpha_e \right). \quad (50)$$

При этом $\alpha_e = \alpha_p (m_p / m_e) = 1836,11 \alpha_p$.

В слабых магнитных полях $\alpha_e \ll 1$, $\text{th} \alpha_e \approx \alpha_e$, $\text{th}(\sigma_p \alpha_p) \approx \sigma_p \alpha_p \ll \alpha_e$, $\text{cth} \alpha_e \approx \alpha_e^{-1} + \alpha_e / 3$, $\text{cth} \alpha_p \approx 1836,11 / \alpha_e$. Это дает:

$$w \approx n_p m_p c^2 + n_p kT (3 - 2\alpha_e^2 / 3) \approx n_p (m_p c^2 + 3kT), \quad (51)$$

т.е. влиянием слабого магнитного поля на плотность энергии электронно-протонной плазмы можно пренебречь. Слагаемые в (52) сравнимы при $T \sim m_p c^2 / (3k) \approx 3,6 \cdot 10^{12}$ К. Соответствующее уравнение состояния имеет вид:

$$P = \frac{2kT}{m_p c^2 + 3kT} w. \quad (52)$$

В сверхсильных магнитных полях $\alpha_e \gg 1$. При этом $\alpha_p \text{cth} \alpha_p \ll \alpha_e \text{cth} \alpha_e$, $\sigma_p \alpha_p \text{th}(\sigma_p \alpha_p) \ll \alpha_e \text{th} \alpha_e$ и



$$w(B) \approx n_p m_p c^2 + n_p kT (1 + \alpha_e \operatorname{cth} \alpha_e - \alpha_e \operatorname{th} \alpha_e) \approx n_p (m_p c^2 + kT(1+a)), \quad (53)$$

где $a = a(B, T) = 2\alpha_e / \operatorname{sh}(2\alpha_e) < 1$. Тогда уравнение состояния горячего сильно замагниченного нерелятивистского электронно-протонного вещества в модели идеальных ферми-газов может быть записано следующим образом:

$$P = \frac{2kT}{m_p c^2 + kT(1+a)} w. \quad (54)$$

Заметим, что мы не рассматривали здесь возможность рождения электронно-позитронных пар в горячем сверхплотном замагниченном водороде, которое, очевидно, имеет место в реальных астрофизических объектах. Концентрация электронно-позитронных пар в таких условиях может оказаться достаточно большой и внести существенный вклад в давление среды. Поэтому проведенное выше изучение вопроса о влиянии магнитного поля на уравнение состояния горячего электронно-протонного вещества может представлять, в первую очередь, академический интерес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саакян, Г.С. Равновесные конфигурации вырожденных газовых масс / Г.С. Саакян. – М. : Наука, 1972. – 344 с.
2. Зельдович, Я.Б. О ядерных реакциях в сверхплотном холодном водороде / Я.Б. Зельдович // Журнал эксперим. и теор. физ. – 1957. – Т. 33, № 4 (10). – С. 991–993.
3. Секержицкий, В.С. Равновесные системы фермионов и бозонов в магнитных полях / В.С. Секержицкий. – Брест : Изд-во БрГУ, 2008. – 198 с.
4. Секержицкий, В.С. К расчету вероятности пикноядерной реакции в замагниченном водороде / В.С. Секержицкий, С.С. Секержицкий, Г.А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1982. – № 9. – С. 109–110.
5. Дубик, И.Ю. Пикноядерные реакции синтеза в холодном водороде / И.Ю. Дубик, В.С. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2007. – № 1 (28). – С. 51–58.
6. Секержицкий, В.С. О ядерных реакциях в плотном холодном замагниченном веществе / В.С. Секержицкий, Г.А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1980. – № 3. – С. 22–27.
7. Чубарян, Э.В. Некоторые свойства вещества при плотностях ниже ядерной / Э.В. Чубарян // Докл. АН Арм. ССР. – 1964. – Т. 38, № 1. – С. 17–21.
8. Иванов, М.А. О нейтронизации сильно замагниченного вещества / М.А. Иванов, С.С. Липовецкий, В.С. Секержицкий // Астрон. журнал. – 1993. – Т. 70, вып. 3. – С. 531–536.

V.S. Sekerzhitsky. About State Equation of Superdense Hydrogen in Strong Magnetic Field

The state equations for solid and gaseous phases of electronic-proton of substance in strong magnetic field within various significances of mass denseness are received We have used the model of extremely degenerate and non-degenerate ideal fermi-gas.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 16.09.2010



УДК 691.544:666.941.2

Н.С. Ступень

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАГНЕЗИАЛЬНОГО ЦЕМЕНТА

В статье выполнено научное обобщение данных по вопросам получения и использования устойчивого композиционного магнезиального цемента. Производство магнезиального цемента на основе каустического доломита дает возможность получить экологически чистый современный строительный материал. Установлено, что безводные силикаты магния, так же как и гидросиликаты в тонкодисперсном состоянии при взаимодействии с водой затвердевают. Выявлена возможность использования безводных силикатов магния в качестве техногенного сырья и активной структурирующей добавки в различные виды вяжущих материалов

Строительная промышленность и ее база – производство строительных материалов – потребляют огромное количество минерального сырья различного состава и свойств. В формировании эксплуатационных свойств многих строительных материалов главная роль принадлежит гидросиликатам кальция, обладающих высокими техническими свойствами. Но с ростом промышленного и жилого строительства необходим поиск нового строительного сырья, отвечающего требованиям современного строительства.

Одним из перспективных компонентов для производства строительных материалов является магнезиальный цемент. Он обладает многими ценными свойствами: негорюч, долговечен, экологически чистый, обладает одновременно высокими конструктивными способностями и теплоизолирующими свойствами, достаточными декоративными свойствами. Магнезиальный цемент быстро твердеет, отличается высокой прочностью, способностью связывать органические и неорганические заполнители. Вещества органического происхождения (опилки, стружки) длительное время не корродируют в среде магнезиальных вяжущих в отличие от портландцементных и известковых композиций. Кроме этого, магнезиальный цемент может быть получен из минерального сырья и является конкурентоспособным в сравнении с узкопрофильными материалами-аналогами. На основе магнезиальных вяжущих получают камнеподобные материалы под общим названием «магнолит».

Изделия из магнезиальных композиций являются биологически инертными, то есть экологически безопасными. Основным сырьем для получения магнезиальных вяжущих служит горная порода магнезит $MgCO_3$. Ограниченное распространение магнезита обуславливает более высокую себестоимость изделий по сравнению с изделиями из других вяжущих материалов. Расширить производство магнезиального вяжущего можно путем получения его из более распространенного природного сырья. Сырьем для получения магнезиального цемента может служить природный доломит $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ [1].

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).

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°C. Полуобожженный доломит содержит в своем составе 20–28% активного оксида магния и инертное вещество в количестве 60–70% CaCO₃.

Доломит, обожженный при температуре выше 900°C, можно затворять водой и применять для приготовления растворов для кладки и штукатурки. Для приготовления вяжущего полуобжиговой доломит, как и каустический магнезит, затворяют растворами солей электролитов: MgCl₂·6H₂O, MgSO₄·7H₂O, FeSO₄·5H₂O и т.д.

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 [1].

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 [2; 3].

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 1320 до 5500 см²/г обеспечивает существенный рост прочности бетона (более чем в 2 раза) во все сроки твердения. Дальнейшее увеличение тонкости помола в пределах до 8500 см²/г технически нецелесообразно, так как повышает прочностные характеристики всего на 10–15%, а энергетические затраты на помол не компенсируются.

Обеспечивая высокие прочностные характеристики бетонов (до 60–80 МПа и более), применение каустического доломита в то же время связано с такими технологическими и техническими недостатками, как ускоренное структурообразование и схватывание бетонных смесей, значительные собственные деформации расширения, превышающие границы уровня безопасности, а также низкую водостойкость бетона.

С целью регулирования строительно-технических свойств вяжущего на основе каустического доломита изучено влияние различных химических добавок на сохраняемость бетонных смесей на его основе, а также на физико-механические свойства и долговечность бетонов (темпы твердения, прочность, собственные деформации, водостойкость, морозостойкость и водонепроницаемость, стойкость в агрессивных средах). В качестве модификаторов могут быть использованы алюмофосфатная, фосфатная, боратная добавки и их сочетания. Добавки вводили на стадии помола полуобожженного доломита. Установлено, что при использовании комплексных фосфатно-боратных добавок существенно нормализуются процессы структурообразования и твердения бетонов на основе каустического доломита и улучшаются их свойства: достигается устойчивый рост прочности, снижаются собственные деформации расширения, уменьшается опасность развития деструктивных процессов (образование трещин) и т.д. Так, например, введение указанных добавок в количестве 1–3,2% массы каусти-



ческого доломита в магнезиально-доломитовые бетонные смеси значительно повышает их сохраняемость. Механизм действия этих добавок как замедлителей схватывания связан, по-видимому, с осаждением и формированием фосфатно-боратных комплексов [4]. Мелкие частицы труднорастворимых добавок адсорбируются при помоле на частицах активного оксида магния, затрудняя доступ к ним затворителя. Затем в растворе образуются хелатные комплексы, влияющие на прочность и структуру цементного камня.

Еще одним из существенных недостатков магнезиальных вяжущих на доломитовом сырье является их низкая водостойкость и атмосферостойкость. Кроме этого, на поверхности доломитовых изделий могут появляться высолы хлорид-ионов. Такой недостаток существенным образом сужает область применения данного вяжущего.

Среди большого количества гидравлических добавок, влияющих на процессы твердения каустического доломита, обращают на себя внимание кремнесодержащие и фосфорсодержащие материалы. Действие их основывается на связывании легкорастворимых продуктов твердения в водонерастворимые формы.

Но наличие среди продуктов твердения труднорастворимых соединений не в полной мере устраняет причину низкой водостойкости магнезиального доломитового цемента. В присутствии хлорид-ионов гидроксид магния, а также оксохлориды магния обладают повышенной растворимостью. Кроме того, одной из проблем получения качественных изделий из магнезиального цемента является устранение высолов $MgCl_2$ на их поверхности, появление которых связано с избыточной концентрацией хлорид-ионов при получении литых или вибрированных изделий. Однако уменьшение количественного содержания хлорид-ионов путем снижения концентрации $MgCl_2$ в растворе затворения приводит к снижению прочности и водостойкости изделий (концентрация $MgCl_2$ должна быть не менее 15%). Если эту концентрацию сохранить и одновременно уменьшить количество раствора хлорида магния в смеси, то возможность образования высолов уменьшается. Но с уменьшением количества жидкости затворения ухудшается удобоукладываемость формовочной смеси. В этом случае необходимы более интенсивные способы уплотнения, в частности, прессование.

Таким образом, модифицирование магнезиального цемента кремнеземсодержащими добавками и уплотнение формовочной смеси прессованием высокими давлениями позволяет получить изделия повышенной прочности, водостойкости и атмосферостойкости, предназначенные для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью.

Одной из перспективных добавок в доломитовый цемент является силика – побочный продукт производства кремниевых и феррокремниевых сплавов, представляющей собой высокодисперсную пыль SiO_2 . Если содержание SiO_2 не менее 85%, то добавка относится к пуццолановым добавкам с высокой активностью.

Тонкодисперстный кремнезем способствует уменьшению открытой пористости и снижению водопоглощения. При прессовании формируется более плотная упаковка материала, при этом увеличивается суммарная контактная поверхность, что обуславливает повышение прочности и водостойкости. Можно предположить, что уплотнение формовочных смесей прессованием создает предпосылки для контактно-конденсационного твердения, способствующего возникновению истинных фазовых контактов. Это объясняется тем, что тонкодисперстные системы обладают избыточной поверхностной энергией. Для них характерно самопроизвольное образование пространственных структур, что является одним из факторов улучшения структурно-механических свойств материала.



Повышение прочности и водостойкости также идет за счет образования гидроалюминатов и гидроалюмосиликатов магния в присутствии добавок, содержащих наряду с активным кремнеземом и активный глинозем [5].

Одним из важных технологических факторов производства прессованных доломитовых изделий является правильно подобранное соотношение $MgCl_2/MgO$. Это соотношение можно регулировать концентрацией раствора хлорида магния (бишофита), который применяется при затворении доломитовых композиционных вяжущих [6; 7].

Экспериментальные данные показали, что при увеличении концентрации раствора $MgCl_2$ с 10 до 30% механические свойства прессованных изделий улучшаются. Дальнейшее увеличение концентрации жидкости затворения не оказывает какого-либо влияния на прочность и долговечность доломитовых изделий. Но применение бишофита 20–30% концентрации для доломитового вяжущего без гидравлических добавок приводит к появлению высолов даже на прессованных изделиях в виде белых пленок. В тоже время в составах, содержащих добавку микрокремнезема (10–15 %), несмотря на меньшее содержание в них оксида магния, высолы не появляются даже при концентрации затворителя 35%. Это свидетельствует о том, что в присутствии активных гидравлических добавок имеет место связывание хлорида магния в новые гидратные формы. При этом он, видимо, входит в состав комплексных соединений с участием гидроксида магния и активного оксида кремния. Образующиеся гидросиликаты магния и их комплексы с хлоридом магния имеют объем несколько больший, чем исходные вещества, в результате чего заполняют часть капиллярных пор. Это подтверждается данными о водопоглощении образцов: с увеличением концентрации затворителя водопоглощение затвердевшего цементного камня понижается. Такой характер изменения водопоглощения (по-существу капиллярной пористости) может быть объяснен появлением в структуре стабильных оксохлоридов магния, а также комплексов гидросиликатов магния с его хлоридом [6; 7]. При этом коэффициент размягчения образцов с добавкой микрокремнезема 10% при увеличении концентрации бишофита с 15% до 30% возрастает с 0,57 до 0,86. Можно предположить, что определенное содержание хлорида магния в композиционном вяжущем увеличивает скорость образования труднорастворимых гидросиликатов магния [8].

Экспериментально определено, что при твердении доломитового цемента с добавкой дисперсного SiO_2 образуются гидросиликаты магния типа серпентина $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ и сепиолита $8MgO \cdot 12SiO_2 \cdot nH_2O$. Затвердевший модифицированный цемент на основе доломита обладает повышенной прочностью и водостойкостью при содержании SiO_2 10–20%. Прессование как способ уплотнения позволяет более чем в 2 раза сократить содержание $MgCl_2$, что обеспечит снижение растворимости оксохлоридов и гидроксида магния. Достигается повышение водостойкости затвердевшего цементного камня и исключается возможность высолообразования (прессующее давление – 30–40 МПа). Добавка SiO_2 увеличивает воздухостойкость доломитовых изделий. Сочетание прессования и модифицирования доломитовых вяжущих гидравлическими добавками позволяет улучшить структуру затвердевшего цементного камня, а также обеспечивает образование труднорастворимых соединений, что поддерживает водостойкость таких композиций.

Модифицированные доломитовые вяжущие рекомендуются для производства прессованных строительных изделий, эксплуатируемых в помещениях с влажностью более 60%.



Динамика промышленного производства вынуждает вести добычу не только осадочных, но и изверженных горных пород ультраосновного состава (попутных продуктов добычи полезных ископаемых и обогащения), содержащих силикаты магния в значительных количествах. На территории стран СНГ запасы этого сырья велики.

Силикаты магния и их разновидности имеют разнообразные типы кристаллических структур: островные, кольцевые, цепочечные, ленточные, листовые и каркасные.

Гидратация оксида магния при комнатной температуре идет медленно. Растворимость оксида магния зависит от удельной поверхности, ориентации кристаллитов, концентрации дефектов, температуры и pH растворов. В свою очередь скорость растворения зависит от скорости диффузии растворенных молекул оксида магния через слой насыщенного раствора. Это связано с тем, что на поверхности мелкодисперсного оксида при соприкосновении с влагой воздуха оксид магния покрывается тонкой пленкой аморфного коллоидного $Mg(OH)_2$. Присутствие аморфного кремнезема способствует увеличению скорости гидратации оксида магния.

Скорость образования гидросиликатов при комнатной температуре в значительной степени зависит от дисперсности SiO_2 . Установлено, что если кварцевые частицы имеют размеры меньше 20–30 мк, то они довольно быстро взаимодействуют с гидроксидом магния, образуя гидросиликаты. Это, в частности, обусловлено тем, что скорость образования гидросиликатов при комнатной температуре увеличивается с повышением концентрации силановых групп (-Si-OH), которая в свою очередь связана с дисперсностью кварцевого порошка. При помолу кварца происходит частичное разрушение связи -Si-O-Si- с образованием связи -O-Si-, которая с влагой воздуха легко образует на поверхности зерен кварца силановые связи -Si-OH.

Гидросиликаты магния образуются первоначально в виде гелевидных пленок, которые значительно устойчивее пленок $Mg(OH)_2$. Эти выводы были получены путем измерения электропроводности жидкой фазы.

К существенным кинетическим факторам относятся степень соприкосновения фаз, находящаяся под влиянием тонкости помола, времени выдержки, применение различных модификаций. Эти факторы существенным образом влияют на термодинамические константы исходных материалов, следовательно, и на ожидаемый результат взаимодействия. Однако в отдельных случаях кинетические факторы можно ограничить. Это касается и силикатных систем. В подобных случаях скорости реакций определяются диффузионными процессами, связанными с транспортом структурных единиц компонентов, участвующих в реакции, к соответствующим границам фаз.

Термодинамические расчеты реакций образования гидросиликатов были выполнены Е.И. Ведем и Б.Ф. Блудовым [1]. Известно, что значение pH является важным фактором образования гидросиликатов магния [9]. При гидратации оксида магния в системе образуется гидроксид магния:



Этот процесс термодинамически выгоден:



$$Kp = \frac{[Mg^{2+}][OH^-]}{[MgO][H_2O]},$$

поскольку $[Mg^{2+}] = 2[OH^-]$ $[MgO] = [H_2O] = 1 \text{ моль/л};$



$$Kp = \frac{2[\text{OH}^-][\text{OH}^-]^2}{1} = 2[\text{OH}^-]^3;$$

заменяя $[\text{OH}^-]$ на $\frac{10^{-14}}{[\text{H}^+]}$, получаем

$$Kp = \lg 2 + \lg \frac{10^{-14}}{[\text{H}^+]^3} = 3pH - 41,7$$

$$3538 - 6,32 = 3pH - 41,7; \quad pH = 11,78.$$

Установлено, что гидросиликаты магния могут образовываться уже при комнатной температуре, причем наиболее предпочтительным гидросиликатом является сепиолит – $\text{Mg}_3(\text{H}_2\text{O})_3[\text{Si}_4\text{O}_{11}]\text{H}_2\text{O}$ ($3\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

Было доказано также, что хризотил, имеющий волокнистую структуру, является менее устойчивой формой серпентина ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) по сравнению с его другой формой – антигоритом, имеющим пластинчатую структуру.

Подтверждена также возможность превращения талька в антофиллит и керолит, что соответствует экспериментальным исследованиям Келли и Кинга.

Как известно, скорость и полнота образования сложных полимерных структур зависит от совокупности многих факторов. Поэтому целесообразно изучить совместное влияние основных факторов на скорость образования гидросиликатов магния. Целью работы явилось изучение фазового и минералогического состава системы $\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ при различных соотношениях компонентов системы и различном значении pH растворов. Для комплексного изучения системы $\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ она была искусственно смоделирована с различным соотношением компонентов MgO и SiO_2 .

Образование сложных полимерных гидросиликатных структур магния доказано экспериментально при изучении твердения композиционных магнезиальных вяжущих. Именно эти соединения придают повышенную водостойкость и воздухоустойкость строительным материалам на основе магнезиальных вяжущих, что существенным образом расширяет область их применения.

Следует отметить, что многие безводные силикаты магния имеют совершенную кристаллическую структуру с достаточно устойчивыми ионно-ковалентными связями. Они отличаются высокими техническими свойствами: плотностью, твердостью, жаростойкостью, химической инертностью. Такие технические характеристики объясняются полимерным строением силикатов. Выявлено более 100 разновидностей силикатов магния (оливин, диопсид, серпентин и др.), которые обладают меньшей устойчивостью, чем безводные силикаты магния.

Силикаты магния могут иметь различное происхождение: магматическое, метасоматическое и контактно-метасоматическое. При магматическом генезисе происходит дифференциация магмы и образование многих видов кремнекислородных радикалов разной кислотности. Магний кристаллизуется из магмы и образует сначала периклаз (MgO), а затем быстро превращаются в форстерит, при наличии железа – оливин. При охлаждении магмы образуются цепочечные разновидности силикатов магния (диопсид, авгит и др.), затем кристаллизуются биотит и другие силикаты.

Генезис менее устойчивых листовых, кольцевых, каркасных силикатов магния преимущественно метасоматический (серпентин, тремолит) или контактно-метасоматический (некоторые виды пироксенов, кальцифитов). Для образования этих силикатов необходимы высокие температуры, давление парагазовой среды.



Силикаты магния по сравнению с силикатами кальция имеют более плотную упаковку, меньшее координационное число, а это, в свою очередь, является причиной их большей устойчивости и долговечности. Это объясняется тем, что ион магния имеет меньший радиус ($r = 0,078$ нм), чем ион кальция ($r = 0,104$ нм).

Для силикатов магния характерна склонность к многочисленным и разнообразным замещениям (изовалентным и гетеровалентным) катиона магния на катионы железа, кальция, кобальта, никеля и др. Поэтому в природе большое количество разнообразных сложных силикатов магния.

Обобщение данных по распространенности, генетическим особенностям, их кристаллизации послужили теоретическими предпосылками для постановки исследований возможности использовать силикаты магния как новую сырьевую базу строительной промышленности.

По генезису, кристаллохимическим особенностям и физико-механическим свойствам магнийсодержащие силикаты, с позиций их промышленной переработки в полезный продукт, можно классифицировать на следующие три группы:

- 1) силикаты магния;
- 2) кальциево-магниевые, железисто-магниевые, алюминиево-магниевые силикаты;
- 3) комплексные силикаты сложного химического состава – алюмосиликаты магния [2].

Решающим фактором в организации исследований проблемы силикатов послужило то, что при разработке многих месторождений полезных ископаемых (железа, хрома, никеля и др.) техногенное сырье в виде измельченных минеральных масс (порошков, песков, щебня) изверженных горных пород не требуется организации геологической разведки и добычи. Использование техногенного сырья имеет экономическое и экологическое значение.

С учетом физико-механических свойств силикатов магния и склонности их к ионному обмену в определенных условиях можно предположить возможность получения из них искусственных строительных материалов.

По аналогии со свойствами силикатов магния строительные материалы на их основе должны обладать ценными свойствами: повышенной устойчивостью к высоким температурам, агрессивным средам, поглощающей способностью к нейтронному излучению, долговечностью, должны быть эффективны и экономически целесообразны.

В настоящее время выполнено научное обобщение имеющихся данных по вопросам распространенности, генезиса, структуры и синтеза силикатов магния. Установлено, что критерием возможного применения продуктов обогащения руд, содержащих силикаты магния в качестве заполнителей, является их гранулометрический состав (щебень – 5–70 мм, песок – 5–0,14 мм), их механическая прочность и повышенная механохимическая активность на контакте с матрицей цементных и полиминеральных вяжущих [2].

Для экспериментальных исследований искусственно смоделировали систему CaO-MgO-SiO₂ из химически чистых оксидов магния и кальция, а также тонкоизмельченного кварцевого песка. Исследования проводили на образцах-кубиках 2x2x2 см. Размеры образцов приняты из соображений возможности в короткие сроки получить исследуемые зависимости. После распалубки (через сутки) образцы подвергали автоклавной обработке. Содержание ионов кальция и магния определяли кинетическим методом.

В результате комплексных исследований (термического, петрографического, аналитического) выявлены продукты новообразования. Фазовые превращения в таких комплексных силикатных системах очень сложны, особенно если присутствуют приме-



си оксидов фосфора, железа, хрома. Можно предположить, что при гидротермальном синтезе происходят сложные процессы образования новых химических фаз гидросиликатов кальция и магния. Образуются соединения сходные по своей структуре с форстеритом, вюститом. Они обладают достаточно высокой водостойкостью и придают такому материалу механическую прочность.

Таким образом, безводные силикаты магния в тонкоизмельченном состоянии при затворении с водой затвердевают. Особенно заметны вяжущие свойства при автоклавной обработке. Проявление оливин-диопсидовыми материалами вяжущих свойств и наблюдение самопроизвольного затвердевания попутных продуктов (хвостов), их содержащих, по-видимому, происходит (по аналогии с серпентиновым цементом) в результате нарушения координации иона магния при механохимических и термических воздействиях. Исследования показали, что безводные силикаты магния можно использовать для получения строительной керамики, при производстве глазурей, газобетона [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веды, Е.И. Термодинамические расчеты образования силикатов магния / Е.И. Веды, Б.Ф. Блудов // Архитектура и строительство, М., 1969. – С. 58–102.
2. Боженков, П.И. Пироксен-оливинитовые породы Ковдорского месторождения – сырье для производства строительных материалов / П.И. Боженков, В.С. Сальникова, В.В. Прокофьева. – М. : Наука, 1975. – С.111–115.
3. Прокофьева, В.В. Цементы на основе магнийсодержащих хвостов обогащения руд / В.В. Прокофьева, П.И. Боженков. – М. : НИИЦемент, 1982. – С. 42.
4. Бабушкин, В.И. Термодинамика силикатов / В.И. Бабушкин, Г.М. Матвеев, О.П. Мчедлов-Петросян. – М. : Наука, 1972. – 215 с.
5. Ступень, Н.С. Прессованные вяжущие на основе каустического доломита Полесья / Н.С. Ступень // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы равіцця: зб. навук. прац : у 2 т. / рэдкал.: М.В. Міхальчук (адк. рэд.). – Брест : Альтернатыва, 2008. – Т. 1. – С. 180–183.
6. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М. : Наука, 1981. – 256 с.
7. Ступень, Н.С. Строительные материалы на базе силикатов магния / Н.С. Ступень // Веснік Брэсцкага універсітэта. – 2005 г. – № 3 (24). – С. 75–78.
8. Зиберкас, Б.Л. К вопросу использования доломитов Литовской ССР в производстве ксилолита / Б.Л. Зиберкас. – Каунас, 1974. – 178 с.

N.S. Stupen. Conditions for Formation of Magnesium Composition Cement

The article reviews the synthesis of magnesium cement. The production of magnesia cement based on caustic dolomite will allow producing ecologically safe and valuable building material. It quickly becomes solid, and has the ability to bind organic and non-organic fillings. The introduction of 10-20% of silica will allow raising hydraulics, atmosphere resistance and water-repellence of magnesia cement. Magnesium silicates are building materials with good properties. Press-dolomite is the modern building materials for damp premises.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 13.09.2010



УДК 630*161.443.6 : 674.031.632.13

И.И. Концевая, Л.Н. Усачева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТИБИОТИКОВ НА ЭТАПЕ МУЛЬТИПЛИКАЦИИ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ *BETULA OBSCURA* KOTULA EX FIEK

Исследовали влияние карбенициллина, цефотаксима, гентамицина, стрептомицина, аугментина, добавленных в питательную среду, на рост и развитие узловых сегментов побегов березы чернокорой на этапе мультипликации. Выявлено негативное воздействие присутствия в питательной среде канамицина в концентрациях 100 и 1000 мг/л и стрептомицина в концентрациях 150 и 1500 мг/л на культуру тканей березы чернокорой. На этапе мультипликации побегов наиболее оптимальным является применение цефотаксима (500 мг/л), карбенициллина, (750 мг/л), аугментина (400–500 мг/л), рифампицина (30 мг/л), ампициллина (100 мг/л). Такой режим позволяет обычно поддерживать визуально стерильную культуру тканей березы в течение длительного периода времени без негативного воздействия на морфометрические параметры микрорастений.

При работе с культурой клеток и тканей березы чернокорой следует придерживаться концепции совместного использования нескольких видов антибиотиков либо чередовать их применение. Не рекомендуется использовать антибиотики в каждом пассаже при рутинном размножении.

Введение

Береза чернокорая (*Betula obscura* Kotula ex Fiek) произрастает в Украине, России, Польше, Чехии, Словакии. В Беларуси встречается сравнительно редко. На территории республики выявлено свыше 30 местонахождений в 12 географических районах [1, с. 40]. Для *B. obscura* характерна высокая декоративность древесины, что делает ее экономически важной культурой. В связи с малочисленностью, вероятным реликтовым происхождением, в силу своих биологических особенностей (наблюдаемая анеуплоидия, пониженная жизнеспособность особей и популяции в целом), принимая во внимание высокую декоративность, остро стоит вопрос о сохранении чернокорой березы [1, с. 45]. Для решения данной проблемы очень эффективно использовать метод культуры клеток и тканей. Ранее нами был предложен способ микроразмножения березы чернокорой [2, с. 236], однако вскоре встал вопрос о периодической контаминации лабораторного материала.

Следует подчеркнуть, что при работе с культурой тканей растений всегда существует проблема в инфицировании микроорганизмами пассируемого клонального материала [3, с. 2], что легко прослеживается чисто визуально. Помимо снижения жизнеспособности культур, присутствие инфекции может приводить к тканевому некрозу и значительно снижать пролиферацию побегов, способность их к быстрому росту и укоренению. Искоренить инфекцию у первичной культуры достаточно трудно. Даже при использовании в качестве первичного экспланта апикальных меристем побегов нельзя гарантировать избавление тканей от всех микроорганизмов [4, с. 134]. Дальнейшее же культивирование такого материала на богатых углеводами питательных средах стимулирует накопление микроорганизмов во внутренних межклеточных полостях, что в итоге приводит к проявлению инфекции спустя n -число пассажей.

Древесные растения характеризуются накоплением в своих тканях в процессе роста и развития различных микроорганизмов, прежде всего бактерий, фитоплазмид, грибов, вирусов. Многолетняя природа этих растений усугубляет их состояние при получении стерильных культур. Несмотря на все усилия, простерилизовать ткань обычными способами зачастую не удается, и споры, попадая при выращивании тканей



в благоприятные условия, прорастают и начинают быстро размножаться на питательных средах. В практике микроклонального размножения для подавления такой внутренней инфекции часто в питательную среду вводят различные антибиотики. По мнению некоторых исследователей [5, с. 157], оптимальным является периодическое добавление антибиотиков в питательную среду, когда рост растительной ткани подавляется минимально, а бактерий – максимально.

Использование антибиотиков для уменьшения или предотвращения микробной контаминации культуры тканей на длительный период культивирования имеет определенные ограничения. Во-первых, антибиотики – дорогостоящие антибактериальные средства; во-вторых, они эффективны обычно только против бактерий, причем, довольно узкого круга; в-третьих, они обычно термолabile; в четвертых, оказывают влияние на рост растительной ткани: их эффект может стимулировать либо, наоборот, ингибировать рост и развитие микрорастений в результате токсичного действия [6, с. 615; 7, с. 118]. Кроме того, постоянное применение антибиотиков может привести к появлению резистентных штаммов бактерий.

Антибиотики тестированы по их бактериостатической и бактерицидной способности в отношении к разным видам бактерий и другим микроорганизмам, обитающим в культуре тканей растений. По данным лабораторий фитотехнологии (PhytoTechnology Laboratories, USA), чувствительность культуры тканей разных видов растений к одним и тем же антибиотиками может быть различной. Однако если исследования по воздействию антибиотиков на клеточные культуры различных сельскохозяйственных растений довольно многочисленны и активно проводятся не одно десятилетие, то в культуре древесных растений использование антибиотиков ограничивается обычно генно-инженерными технологиями.

Определение взаимоотношений между культивируемым *in vitro* материалом того или иного вида растений и антибактериальным агентом является важной и актуальной проблемой микроклонального размножения, особенно древесных насаждений, которая требует при рассмотрении комплексного подхода, с использованием знаний и методов самых разных биологических дисциплин. Несомненно, актуальность данной проблемы возрастает в биотехнологических исследованиях в области растениеводства, в частности, при получении трансгенных растений.

Цель данного исследования – изучение влияния некоторых антибиотиков, добавленных в питательную среду, на рост и развитие узловых сегментов побегов березы чернокорой на этапе мультипликации микроклонального размножения.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали клон ч1 березы чернокорой. Выбранный клон характеризуется высоким морфогенным потенциалом [8, с. 226] и может быть рекомендован как модель для биотехнологических лесных исследований по аналогии с представителями рода *Populus*.

Субкультивирование микрорастений обычно выполняли каждые 30 дней на свежую безгормональную среду. Для снижения уровня бактериальной контаминации материала в течение двух последних лет периодически использовали также среду, дополненную цефотаксимом в концентрации 500–750 мг/л. В асептических условиях нарезали однопочечные сегменты побегов длиной 0,5–1,0 см с листом или без листа. Затем экспланты в вертикальной ориентации помещали на агаризованную среду. Основу питательной среды составляла смесь неорганических солей, оптимизированная для древесных (WPM) [9, с. 426]. Витамины, микроэлементы добавляли по прописи Мурасиге



и Скуга [10, с. 496]; pH среды перед стерилизацией доводили до 5,6–5,8. Автоклавировали среды при 1,1 атм в течение 20 мин. Тестировали следующие антибиотики: цефотаксим (РУП «Борисовский завод медицинских препаратов», Беларусь); карбенициллин (ЗАО «Брынцалов-А», Россия); ампициллин (ампициллина натриевая соль) (РУП «Борисовский завод медицинских препаратов», Беларусь), тетрациклин (РУП «Белмедпрепараты», Беларусь), канамицин (ЗАО «Брынцалов-А», Россия), рифампицин (Holden Medical B.V., Нидерланды), гентамицин (гентамицина сульфат), (РУП «Белмедпрепараты», Беларусь); стрептомицин (стрептомицина сульфат); (ЗАО «Брынцалов-А», Россия), аугментин («СмитКляйн Бичем Фармасьютикалз», Великобритания). При выборе концентраций антибиотиков для некоторых из них исходили из концентраций, предлагаемой в информации PhytoTechnology Laboratories. Большая же часть концентраций антибиотиков была выбрана на основании предварительных наших исследований. Антибиотики добавляли в стерильных условиях в охлажденную до 45° С агаризованную среду, после чего проводили ее разлив по стерильным культуральным сосудам объемом 200 мл. В качестве контроля использовали модифицированную среду WPM без добавления фитогормонов и других биологически активных веществ (WPM, б/г).

Материал культивировали в оптимальных условиях: при температуре $25 \pm 1^\circ \text{C}$, с фотопериодом 16 часов и освещенностью 3 тыс. лк. Число повторностей в каждом варианте составило 20. Оценку материала проводили спустя 30 дней. Чистоту растительного материала оценивали визуально по следующей шкале: «-» – отсутствие бактериальной инфекции, «+» – слабая вуаль в глубине питательной среды, «++» – сильная вуаль в глубине питательной среды, «+++» – сильная поверхностная инфекция. Учитывали процент эксплантов с признаками хлороза и некроза, способность их к побегообразованию. Определяли морфологические параметры сформировавшихся растений (высоту побегов, число листьев и корней, степень развития корней). Последний параметр оценивали по трехбалльной шкале: 1 – слабое развитие корневой системы (наличие 1–5 корней с длиной не более 1 см); 2 – среднее развитие корней (наличие более 3 корней с длиной свыше 1 см с единичными боковыми и придаточными корнями); 3 – сильное развитие корневой системы (наличие более 3 корней с длиной свыше 3 см с развитыми боковыми и придаточными корнями). Был выполнен статистический анализ на основе программ *Microsoft Excel*. Для определения достоверных различий между вариантами опыта и контролем вычисляли критерий t-Стьюдента.

Для выявления последующего эффекта антибиотиков на органогенную способность растений березы чернокорой спустя 30 дней от каждого варианта пассировали на свежую безгормональную среду WPM по 20 штук однопочечных сегментов побегов, которые культивировали при оптимальных условиях в течение 4 недель. После этого визуально оценивали способность эксплантов к дальнейшему росту и развитию и возможность формирования полноценных растений.

Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что используемый материал березы чернокорой характеризовался накоплением в своих тканях значительного количества бактериальной инфекции. Об этом свидетельствует сильный рост бактерий на поверхности питательной среды в контрольном варианте и на среде, дополненной цефотаксимом. По нашему предположению, отсутствие антибактериального эффекта цефотаксима может свидетельствовать в первую очередь о формировании устойчивых штаммов бактерий к данному антибиотику, поскольку он периодически использовался в составе питательных сред, и (в меньшей степени) о присутствии в тканях растений видов бактерий, на кото-



рых цефотаксим не оказывает антимикробного действия. Также установлено, что стрептомицин даже в очень высокой концентрации – 1500 мг/л – не оказывает губительного воздействия на штаммы бактерий, присутствующие в исследованной культуре тканей березы (таблица 1). В этом варианте отмечали наличие инфекции у основания эксплантов.

Таблица 1 – Влияние антибиотиков на развитие микрорастений березы чернокорой

Антибиотики, концентрация в мг/л	Инфицированность среды	Хлороз, %	Некроз, %	Средняя высота растений, ($x \pm S_x$), см	Корни	
					наличие у эксплантов, %	степень развития
WPM, б/г (контроль)	+++	0	0	1,8±0,2	100	1
цефотаксим, 500	+++	0	0	2,2±0,5	90	1
карбенициллин, 750	–	0	0	1,7±0,2	100	1; 2
цефотаксим, 500 + карбенициллин, 750	–	0	0	2,5±0,3	100	2; 3
аугментин, 400	–	0	0	3,2±0,5*	100	3
аугментин, 500	–	0	10,0	2,8±0,3*	100	3
аугментин, 800	–	0	25,0	3,5±0,5*	90	3
аугментин, 300 + це- фотаксим, 500	–	0	0	2,8±0,4*	100	1; 2
гентамицин, 50	–	0	0	1,4±0,2	0	0
канамицин, 100	–	0	10,0	1,5±0,2	0	0
канамицин, 1000	–	90,0	10,0	1,0±0,1**	0	0
тетрациклин, 20	–	0	10,0	1,2±0,2*	0	0
стрептомицин, 150	+++	0	10,0	1,0±0,1**	0	0
стрептомицин, 1500	+++	100	0	0,8±0,1**	0	0
рифампицин, 30	–	0	0	3,0±0,3*	100	2
ампициллин, 100	–	0	0	3,8±0,4**	100	2
ампициллин, 1000	–	5,0	10,0	1,5±0,2	60,0	1; 2
ампициллин, 100 + цефотаксим, 500	–	0	5,0	2,5±0,3	50,0	0; 1
ампициллин, 1000 + цефотаксим, 500	–	0	0	1,2±0,2	20,0	1
ампициллин, 700 + цефотаксим, 500	–	0	5,0	2,5±0,3	10,0	1
рифампицин, 30 + цефотаксим, 500	–	0	20,0	1,8±0,2	100	1
тетрациклин, 20 + цефотаксим, 500	–	0	5,0	2,0±0,3	100	1
гентамицин, 50 + це- фотаксим, 500	–	0	0	0,9±0,1**	0	0

Примечание: уровень значимости при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

При культивировании микрорастений на средах, дополненных гентамицином, канамицином, тетрациклином, стрептомицином, выявлено сильное подавление роста



и развития эксплантов. На каждой тестируемой среде отмечали у 10% эксплантов полную гибель. Остальные жизнеспособные экспланты характеризовались отсутствием роста побегов либо минимальным ростом. При высоких концентрациях стрептомицина (1500 мг/л) и канамицина (1000 мг/л) наблюдали появление белых, лишенных хлорофилла листьев. Индукция корней отсутствовала у всех эксплантов.

При добавлении в состав питательной среды цефотаксима (500 мг/л), карбенициллина (750 мг/л), аугментина (400–500 мг/л), рифампицина (30 мг/л) и ампициллина в концентрации 100 мг/л не установлено негативного их воздействия на развитие эксплантов. В вариантах с применением аугментина, рифампицина и ампициллина отмечали даже стимулирование ростовых процессов. Наблюдали достаточно активный рост побегов в высоту, формирование зеленых листьев, стабильное корнеобразование. Присутствие аугментина в составе питательных сред вызывало существенное увеличение параметров ризогенеза практически у всех микрорастений, в результате формировались более мощные корни, чем в контроле.

Использование цефотаксима в комбинации с другими антибиотиками в большинстве исследованных вариантов не оказывало существенного влияния на изменение параметра «средняя высота растений». Исключение составляет вариант с применением аугментина, когда средняя высота растений возрастала, и вариант с применением гентамицина, когда отсутствовали признаки развития эксплантов. Комбинированное использование антибиотиков в ряде вариантов повлияло на развитие корневой системы. Совместное добавление цефотаксима и тетрациклина в питательную среду стимулировало у всех эксплантов в слабой степени ризогенез, который был подавлен в присутствии одного тетрациклина. В вариантах применения цефотаксима (500 мг/л) и ампициллина (100–1000 мг/л) их совместный эффект, наоборот, подавлял процесс корнеобразования по сравнению с вариантами сред, где присутствовал только ампициллин.

При последующем субкультивировании экспериментального растительного материала со среды, дополненной тем или иным антибиотиком, на безгормональную среду, была визуально оценена эффективность использования антибиотиков в предыдущем пассаже для получения чистого материала (избавления от бактериальной инфекции). Появление бактериальной инфекции отмечали в контроле и в вариантах с применением цефотаксима либо карбенициллина. В этих вариантах рост микрорастений из-за контаминации тканей был существенно подавлен. Установлено, что высокие концентрации стрептомицина (1500 мг/л) и канамицина (1000 мг/л) в среде культивирования первого пассажа приводили во втором пассаже к гибели эксплантов, вызывая некроз тканей. Более низкие концентрации этих антибиотиков, а также воздействие тетрациклина, существенно подавляли ростовые процессы эксплантов. В итоге формировались слабые микропобеги, как и в предыдущем пассаже. В остальных опытных вариантах не установлено значительного негативного воздействия исследованных антибиотиков на рост и развитие эксплантов.

Несмотря на все негативные моменты, которые оказывают антибиотики на тканевые культуры растений, использование химических веществ, обладающих антибактериальным эффектом, является, по-видимому, обязательным условием успешной работы. Однако следует учитывать разнообразные функции воздействия данного класса веществ, их токсичность на определенные виды микроорганизмов и токсичность на растительные ткани.

Апробированные антибиотики в зависимости от механизма их действия на бактериальную клетку делятся на несколько групп и имеют следующие характеристики



[11, с. 90]. Ампициллин и цефалоспорины (цефотаксим и карбенициллин) относятся к фармакотерапевтической группе пенициллин полусинтетический. Эти антибиотики эффективны в относительно низких дозах, имеют широкий спектр противомикробного действия и низкую токсичность для эукариот, действуют бактерицидно, подавляя синтез клеточной стенки бактерий. Высокоактивны в отношении многих грамотрицательных бактерий, проявляют активность в отношении грамположительных бактерий. Аминогликозидные антибиотики (стрептомицин, канамицин, гентамицин) и тетрациклин (из группы тетрациклинов) связываются с 30 S-субъединицей рибосом, что прекращает биосинтез белка. Являются бактериостатическими антибиотиками широкого спектра действия. Полусинтетический антибиотик рифампицин активен в отношении множественно-устойчивых штаммов бактерий, в том числе грамположительных. Механизм его действия на бактериальную клетку обусловлен подавлением синтеза РНК. Аугментин (амоксициллин + клавулановая кислота) – из четвертого поколения антибиотиков. Он оказывает бактерицидное действие на грамположительные и грамотрицательные микроорганизмы. Перечисленные антибиотики высокоактивны в отношении многих грамотрицательных и грамположительных бактерий. Они широко используются при работе с культурой клеток и тканей растительного происхождения, прежде всего в опытах по генетической трансформации [12 с. 213].

Исследования по влиянию антибиотиков на клеточные культуры различных сельскохозяйственных растений довольно многочисленны. Так, на подсолнечнике было выявлено, что в слабых концентрациях пенициллин, стрептомицин, бацитрацин, тетрациклин значительно стимулируют рост нормальной ткани, а при повышенной концентрации вызывают его угнетение [6, с. 616]. При размножении картофеля добавление смеси антибиотиков в питательную среду не позволило элиминировать бактериальную инфекцию, зато развитие растений было подавлено, отмечался некроз и хлороз листьев и побегов [7, с. 119].

Вышесказанное в полной мере согласуется с результатами нашего эксперимента (таблица 1). При увеличении в питательной среде концентрации аугментина и ампициллина наблюдали угнетение роста и развития эксплантов, при слабых концентрациях антибиотиков отмечали стимулирование ростовых процессов у микрорастений. Использование стрептомицина как при низкой (150 мг/л), так и при высокой (1500 мг/л) концентрации, не позволило избавиться от бактериальной инфекции, в то время как было отмечено существенное угнетение развития культур, а при более высокой концентрации антибиотика даже с признаками хлороза у всех эксплантов.

Имеются сведения о влиянии антибиотиков на клеточном и молекулярном уровнях. Установлен эффект пенициллинов на активность ферментов азотного метаболизма, изменение ультраструктурных элементов клетки и биохимических процессов, имевшие место в стабилизированной культуре каллуса, полученного из мезофилла листа *Sedum telephium* L. [13, с. 124]. В культуре тканей растений пшеницы, произрастающих на средах, дополненных разными формами пенициллинов, было отмечено усиление многих метаболических процессов, возрастало содержание хлорофиллов, увеличивались размеры митохондрий. Как было установлено, бензилпенициллин активизирует пролиферацию растительных клеток, ускоряя клеточный цикл, что ведет к усилению мутагенеза за счет повреждения хромосом. Цефотаксим ингибирует пролиферацию клеток пшеницы, удлиняя клеточный цикл в период метафазы и индуцируя мутации за счет повреждения хромосом и митотического аппарата [14, с. 90]. Показано, что при



определенных концентрациях такие антибиотики, как стрептомицин, эритромицин, рифампицин, рифамицин, могут вызывать мутации у различных растений [12, с. 219].

На крестоцветных растениях в результате обработки семян антибиотиками получена стабильная хлорофиллдефектность [15, с. 472]. Обработка семян ячменя стрептомицином (5 г/л в течение 14 часов) вызвала полное подавление способности растений синтезировать 5-аминолевулиновую кислоту, предназначенную для образования хлорофилла. Получали листья с белой тканью [16, с. 446]. Описана токсичность свыше 20 различных антибиотиков на клетки протопластов *Nicotiana plumbaginifolia*. Из них стрептомицин, канамицин, тетрациклин сильнее всего ингибировали рост протопластов.

Полученные нами результаты с использованием стрептомицина и канамицина, как при более низких, так и при более высоких концентрациях свидетельствуют о мутационных изменениях, которые в первом пассаже при высоких концентрациях выразились в хлорофиллдефектности, а во втором пассаже – в некрозе и полном отсутствии развития эксплантов (таблица 1).

На многих сельскохозяйственных растениях установлено стимулирование роста клеток растений при ингибировании роста микробов в результате добавления в состав питательной среды цефотаксима и карбенициллина [17, с. 38]. На березе чернокорой в результате эксперимента также установлен позитивный эффект цефалоспориновых антибиотиков.

Рифампицин – наиболее используемый антибиотик в культуре тканей растений, в том числе древесных, поскольку имеет широкий спектр антибактериального действия и практически не подавляет рост и дифференциацию клеток [18, с. 208]. В культуре *Helianthus tuberosus* было показано, что из 6 тестированных антибиотиков только рифампицин был способен контролировать бактериальную инфекцию без негативного влияния на синтез ДНК, скорость деления клеток растений, их дифференциацию в тканях эксплантов. Однако рифампицин предотвращает увеличение белкового синтеза [19, с. 239]. Применение рифампицина в нашем исследовании позволило подавить бактериальную контаминацию и при этом сохранить в норме рост и развитие микрорастений березы чернокорой.

При использовании антибиотиков на этапе микроразмножения лесных древесных растений было показано, что отдельный антибиотик не был эффективен против эндогенной бактериальной инфекции [20, с. 208; 21, с. 73]. Трудность применения антибиотиков для культуры растительных тканей заключается в том, что спектр бактерицидного действия каждого из них довольно узок, а среди облигатных паразитов растительных тканей встречаются микроорганизмы, весьма разнообразные по систематическому положению. Помимо этого, нельзя применять один вид антибиотиков на этапе мультипликации побегов длительное время, поскольку могут быть получены устойчивые штаммы бактерий [22, с. 22]. По-видимому, это имело место в нашем эксперименте в вариантах с использованием цефотаксима или карбенициллина, когда наблюдали для первого из антибиотиков стойкую бактериальную инфекцию в обоих пассажах, а для второго антибиотика – только во втором пассаже. Оба антибиотика принадлежат к одной группе цефалоспориновых антибиотиков, и, несомненно, спектр их действия на многие виды и штаммы бактерий пересекается. Поэтому вполне ожидаемо, что и карбенициллин оказался уже неэффективен для подавления роста бактерий и их гибели в тестируемой культуре тканей березы чернокорой.

Использование комбинации нескольких антибиотиков в составе питательной среды при работе с культурой клеток растений, как показано J.H. Dodds & L.W. Roberts



[22, с. 22], является намного эффективнее. Такой подход не только позволит расширить спектр действия антибиотиков на микроорганизмы, но и при соответствующем грамотном подборе комбинаций антибиотиков будет способствовать сохранению ростовых процессов растений в полном объеме, как это было выявлено для большинства вариантов, протестированных в нашем исследовании для березы чернокорой (таблица 1). Тем не менее сохраняется риск увеличения соматоклональной изменчивости в результате использования антибиотиков [23, с. 285].

Для снижения мутационного пресса предлагается проводить регулярное тестирование по морфологическим, а при необходимости – цитогенетическим, биохимическим или молекулярно-генетическим показателям выборочных экземпляров отдельных микроклонов, культивированных *in vitro*.

Заклучение

1. На этапе мультипликации побегов березы чернокорой наиболее оптимальным является добавление в питательную среду следующих концентраций антибиотиков: карбенициллина (750 мг/л), аугментина (400–500 мг/л), рифампицина (30 мг/л), ампициллина (100 мг/л), цефотаксима (500 мг/л) в сочетании с карбенициллином (750 мг/л) или аугментином (300 мг/л). Такой режим позволяет поддерживать визуально чистую культуру тканей без существенного негативного воздействия на морфометрические параметры микрорастений и их жизнеспособность.

2. Выявлено негативное воздействие присутствия в питательной среде канамицина в концентрации 100 и 1000 мг/л и стрептомицина в концентрации 150 и 1500 мг/л на рост и развитие однопочечных сегментов побегов березы чернокорой. Субкультивирование эксплантов на свежие безгормональные среды индуцирует их гибель либо (при сохранении жизнеспособности) существенно подавляет ростовые процессы. Тестированные высокие концентрации этих антибиотиков вызывают у всех эксплантов хлорофиллдефектность.

3. При работе с культурой клеток и тканей березы чернокорой для поддержания ее стерильности в течение длительного периода времени следует придерживаться концепции совместного использования нескольких видов антибиотиков, различающихся по механизму их воздействия на бактериальную клетку и с разным спектром действия на микроорганизмы, либо чередовать их применение. Не рекомендуется использовать антибиотики в каждом пассаже при рутинном размножении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Побирушко, В.Ф. Биологические особенности и изменчивость *Betula obscura* Kotula ex Fiek / В.Ф. Побирушко // Сб. науч. тр. / Ин-т экспериментальной ботаники НАН Беларуси. – Минск, 1992. – Т. 31 : Ботаника. – С. 39–46.
2. Концевая, И.И. Микроразмножение *Betula obscura* Kotula ex Fiek / И.И. Концевая, А.А. Яцына // Молекулярная генетика, геномика и биотехнология : мат. межд. конф., Минск, 24–26 ноября 2004 г. – Минск, 2004. – С. 236–238.
3. Cassells, A.C. Pathogen and microbial contamination management in micropropagation – an overview / A.C. Cassells // Pathogen and microbial contamination management in micropropagation / Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. – 1997. – P. 1–14.
4. Large scale propagation of strawberry plants from tissue culture / P. Boxus [et al.] // Plant Cell Tissue and Organ Culture. – Berlin : Springer-Verlag, 1977. – P. 130–135.



5. Hennig, F. Untersuchungen zur in vitro-Verklonung von systematisch bakteriell verseuchtem Pflanzenmaterial / F. Hennig, K.T. Hänsch // Akad. Landwirtschaftswiss. DDR. – 1989. – № 281. – S. 153–159.
6. Nickell, L.G. Stimulation of plant growth by antibiotics / L.G. Nickell // Proc. Soc. Exptl. Biol. – 1952. – V 80. – P. 615–617.
7. The use of antibiotics to eliminate latent bacterial contamination in potato tissue cultures / J.E. Gilbert [et al.] // Annals of Applied Biology. – 1991. – V. 119, № 1. – P. 113–120.
8. Концевая, И.И. Изучение морфогенеза в культуре тканей листьев *Betula obscura* Kotula ex Fieх. / И.И. Концевая, А.А. Яцына // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2005. – Вып. 64 : Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 219–227.
9. Lloyd, G. Commercially feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia* by use of shoot-tip culture / G. Lloyd, B. McCown // Proc. Intl. Plant Prop. Soc. – 1980. – № 30. – P. 421–427.
10. Murashige, T. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. Skoog // Physiol. Plant. – 1962. – V. 15, № 13. – P. 473–497.
11. Ieamkhang, S. Augmentin as an alternative antibiotic for growth suppression of *Agrobacterium* for tomato (*Lycopersicon esculentum*) transformation / S. Ieamkhang, O. Chatchawankanpanich // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 2005. – V. 82, № 2. – P. 213–220.
12. Лысак, В.В. Микробиология : учеб. пособие / В.В. Лысак. – Минск : БГУ, 2007. – 399 с.
13. Santos, I. Penicillins and activity of nitrogen metabolism enzymes in plant tissue cultures / I. Santos, R. Salema // Plant. Sci. – 1989. – V. 59, № 1. – P. 119–125.
14. Цитогенотоксические эффекты бета-лактамов антибиотиков. Сообщение 1. Тест на индукцию повреждения митотических хромосом в клетках корневой меристемы пшеницы / Ю.В. Редикин [и др.] // Учен. зап. биол. фак. ОмГПУ. – 1996. – № 5. – С. 77–92.
15. Зубко, М.К. Стабильная хлорофиллдефектность, индуцированная у крестоцветных растений с помощью антибиотиков / М.К. Зубко // Физиология и биохимия культурных растений. – 1999. – Т. 31, № 6. – С. 467–473.
16. Влияние кинетина на активность начальных этапов биосинтеза хлорофилла в обработанных стрептомицином проростках ячменя / Е.Б. Яронская [и др.] // Физиология растений. – 2007. – Т. 54, № 3. – С. 440–448.
17. The toxicity of antibiotics to plant cell cultures / K. Pollock [et al.] // Plant Cell Reports. – 1983. – V. 2. – P. 36–39.
18. Use of antibiotics to control bacteria in shoot cultures of woody plants / P.M. Young [et al.] // Plant Sci. Lett. – 1984. – V. 34. – P. 203–209.
19. Antibiotics in plant tissue culture: rifampicin effectively controls bacterial contaminants without affecting the growth of short-term explant cultures of *Helianthus tuberosus* / R. Phillips [et al.] // Plant Science Letters. – 1981. – V. 21. – P. 235–240.
20. Young, P.M. Use of antibiotics to control bacteria in shoot cultures of woody plants / P.M. Young [et al.] // Plant Sci. Lett. – 1984. – V. 34. – P. 203–209.
21. Mentzer, J. Effect of antibiotics on internal bacterial contamination of micropropagation hazelnut / J. Mentzer, P. Tanprasert // In Vitro Cell and Dev. Biol. Anim. – 1996. – V. 32, № 3, Pt. 2. – P.74 A.



22. Dodds, J.H. Experiments in plant tissue culture. Aseptic techniques / J.H. Dodds, L.W. Roberts // Cambridge : Cambridge Univ. Press. U.K. – 1982. – 24 p.

23. Somaclonal variation and genomic flux / W.R. Scowcroft [et al.] // Plant Tissue and Cell Culture (Eds. Green, Somers, Hackett, Biesboer). Alan A. R. Liss. N.Y. – 1992. – V. 3. – P. 275–286.

I.I. Kontsevaya, L.N. Usachiova. Use of Antibiotics at the Stage of Multiplication of Microclonal Reproduction *Betula Obscura* Kotula ex Fiek

The influence of карбенициллина, цефотаксима, gentamycin, streptomycin, аугментина, added in a nutrient medium, on the growth and development of central segments of sprouts of *BETULA OBSCURA* at an animation stage is investigated. Negative influence of kanamicin presence in nutrient medium in concentration of 100 both 1000 mg/l and streptomycin in concentration of 150 and 1500 mg/l on tissue culture *BETULA OBSCURA* is revealed. At the stage of sprout multiplication of the use of цефотаксима (500 mg/l), карбенициллина, (750 mg/l), аугментина (400-500 mg/l), rifampicin (30 mg/l), ampicillin (100 mg/l) is the most optimal. Such mode allows supporting sterile tissue culture of the birch visually during the long period of time, without negative influence on morphometric parameters of micro plants.

Working with tissue and cell culture of *BETULA OBSCURA* it is necessary to adhere to the concept of combined use of several kinds of antibiotics or to alternate their application. It is not recommended to use antibiotics in each passage at routine reproduction.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 09.06.2010



УДК 633:632[954+51]

А.С. Шик, Л.А. Булавин, Т.М. Булавина, С.С. Небышинец

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕР БОРЬБЫ С СОРНЯКАМИ, ВРЕДИТЕЛЯМИ И БОЛЕЗНЯМИ – ОСНОВНОЙ ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ ФИТОСАНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛЕЙ

В статье изложены результаты исследований по изучению эффективности применения основных агротехнических мероприятий в борьбе с сорняками, вредителями и болезнями в посевах сельскохозяйственных культур в условиях Республики Беларусь. Установлено, что для получения максимальной продуктивности необходим дифференцированный подход к использованию адаптивных технологий с учетом сортовых особенностей каждой культуры.

Одним из существенных резервов увеличения урожайности сельскохозяйственных культур в Беларуси является эффективная борьба с сорняками, которые наносят значительный ущерб посевам [1]. Поэтому уничтожение сорных растений следует рассматривать как важнейшее мероприятие и прямую обязанность всех землепользователей.

Основу комплекса мероприятий по борьбе с сорняками в республике в настоящее время составляет применение гербицидов. На их приобретение за рубежом затрачиваются значительные валютные средства. В то же время эффективность гербицидов не всегда находится на должном уровне, что во многом определяется погодными условиями в период их применения (неблагоприятный температурный режим, дефицит влаги в почве, чрезмерное выпадение осадков во время проведения химической прополки и т.д.) [2]. Поэтому повысить стабильность мер борьбы с сорняками и добиться формирования максимальной урожайности возделываемых культур можно лишь при сочетании применения гербицидов со своевременным и качественным проведением комплекса агротехнических мероприятий.

Основной задачей агротехнического метода защиты растений является максимальная мобилизация и использование естественных ресурсов, обеспечивающих удовлетворительное фитосанитарное состояние агроценозов, повышение конкурентоспособности культурных растений по отношению к сорнякам и их устойчивости к болезням и вредителям, а также уничтожение вредных организмов механическими способами [3]. Добиться этого можно, прежде всего, за счет соблюдения севооборота, рациональной системы обработки почвы, оптимизации сроков сева, системы питания растений, плотности стеблестоя, правильного приготовления и использования органических удобрений, своевременного и качественного проведения междурядных обработок и других мероприятий.

Материал и методика

В течение 2006–2010 г. проводились исследования по изучению эффективности применения комплекса агротехнических мероприятий в борьбе с сорняками, вредителями и болезнями в посевах основных сельскохозяйственных культур. Опыты закладывали на дерново-подзолистой песчаной почве (гумус – 1,78–1,86%, P_2O_5 – 148–159 мг/кг, K_2O – 142–164 мг/кг почвы, pH_{KCl} – 4,9–5,5) в Жабинковском районе Брестской области и на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (гумус – 2,06–2,10%, P_2O_5 – 158–179 мг/кг, K_2O – 141–195 мг/кг почвы, pH_{KCl} – 5,1–6,0) в Смолевичском



районе Минской области. Технология возделывания культур проводилась в соответствии с отраслевым регламентом [4]. Пестициды в опытах вносили с помощью ранцевого опрыскивателя при норме расхода рабочего раствора 200 л/га. Учет засоренности и пораженности посевов проводили через 30 дней после применения химических препаратов. Статистическую обработку осуществляли методом дисперсионного анализа [5].

Результаты и их обсуждение

Важным резервом увеличения производства в Беларуси кормового белка является расширение до оптимального уровня посевных площадей и получение высоких урожаев растениеводческой продукции. Низкая продуктивность сельскохозяйственных культур в республике, прежде всего, связана с высокой засоренностью, пораженностью посевов вредителями и болезнями, имеющими место в настоящее время в большинстве хозяйств.

Севооборот. Основополагающее значение в борьбе с сорняками и другими вредными организмами имеет соблюдение чередования культур в севообороте. При нарушении севооборота засоренность посевов возрастает в 2–5 раз [2; 6]. Севооборот снижает засоренность посевов на более длительное время, чем ежегодная классическая вспашка.

Важную роль в очищении полей от сорняков имеет включение в севооборот занятых паров, пропашных культур, клевера или люцерны с многократными укосами. Размещение по этим предшественникам зерновых культур существенно снижает засоренность последних. Это подтверждают результаты исследований, проведенных в почвенно-климатических условиях Беларуси [7].

Отказ от размещения ячменя по стерневому предшественнику позволяет уменьшить его засоренность на 29–71% [6; 8]. При этом следует отметить, что роль многолетних трав в борьбе с сорняками в значительной степени определяется видовым составом и сроком их использования. Благоприятным является посев ячменя только после бобовых и бобово-злаковых трав 1-го и 2-го года пользования. При размещении ячменя после трав 4-го года пользования, которые обычно представлены злаковым компонентом и разнотравьем, отмечается существенное увеличение его засоренности, причем в основном за счет многолетних сорняков.

В условиях производства по ряду причин не всегда удается разместить основные культуры по наиболее благоприятным предшественникам, что приводит к недобору урожая. В настоящее время в республике около 30% зерновых культур высевается по неблагоприятным предшественникам. Ежегодные потери по этой причине составляют не менее 400–450 тыс. тонн зерна [9]. Существенно уменьшить негативное влияние неблагоприятного предшественника можно в результате возделывания в севообороте промежуточных культур. Это позволяет значительно усилить профилактическое и санитарное действие севооборота, а также повысить на 14–15% продуктивность пашни [3]. При правильной обработке почвы промежуточные культуры позволяют компенсировать многие ошибки севооборота. При этом следует иметь в виду, что в севообороте кроме чередования основных культур должно предусматриваться и чередование промежуточных культур.

Особый интерес для возделывания в промежуточных посевах представляют крестоцветные культуры, обладающие наряду с высокой урожайностью уникальной способностью очищать почву от инфекции. Нами установлено, что выращивание в двух полях 8-польного севооборота поукосной и пожнивной редьки масличной на зеленый



корм обеспечило снижение сырой массы сорняков в посевах зерновых в среднем на 29–40%. Эффект от возделывания редьки масличной в борьбе с сорняками отмечался как при отвальной, так и при комбинированной обработке почвы, независимо от того, использовались ли гербициды на посевах зерновых культур. При возделывании в севообороте крестоцветных культур в промежуточных посевах существенно снижалась пораженность зерновых корневыми гнилями.

Кроме того, что крестоцветные культуры, интенсивно накапливающие наземную массу, подавляют сорняки в результате их затенения, корневые выделения крестоцветных, в которых имеется значительное количество горчичных масел, гликозидов, гликозинолатов и других физиологически активных серосодержащих соединений, уменьшают всхожесть семян сорняков, находящихся в почве, что способствует снижению ее потенциальной засоренности [10]. Корневые выделения крестоцветных культур способствуют потере вирулентности некоторых патогенных бактерий, находящихся в почве. Под их действием наблюдается снижение прорастания спор возбудителей болезней, уменьшение длины ростовых трубок у них, а также сжатие содержимого клеток микроспор, что приводит к их деструкции и гибели. Поэтому промежуточные посевы крестоцветных способствуют снижению пораженности последующих зерновых болезнями.

Необходимо отметить, что отдельные виды сорных растений существенно различаются по реакции на возделывание крестоцветных культур в промежуточных посевах. Этот прием уменьшает засоренность полей такими сорняками, как пырей ползучий, марь белая, ромашка непахучая, торица полевая, хвощ полевой, фиалка полевая и др. В то же время возделывание редьки масличной не оказало угнетающего действия на метлицу полевую. Незначительное влияние этот агроприем оказывал на вьюнок полевой, горец вьюнковый, звездчатку среднюю и некоторые другие виды сорняков. Поэтому эффект крестоцветных культур в борьбе с сорняками, возделываемых в промежуточных посевах, может изменяться в зависимости от типа засорения полей, т.е. от соотношения в агроценозе чувствительных и устойчивых к этому фактору видов сорняков. Важное значение в этом отношении имеет также уровень урожайности промежуточных крестоцветных и конкурентоспособность по отношению к сорнякам культур, возделываемых после выращивания крестоцветных.

Обработка почвы. Добиться максимального эффекта в борьбе с сорняками от правильного чередования культур в севообороте можно лишь при его сочетании с соответствующей обработкой почвы. Результаты исследований показали, что рациональная и своевременная обработка почвы на 50–60% снижала засоренность посевов малолетними и многолетними сорняками. Система обработки почвы должна обязательно включать послеуборочное лушение, основную и предпосевную обработки.

Лушение. Этот прием особенно эффективен на полях, засоренных многолетними сорняками. Необходимо лушение и там, где после уборки урожая нельзя сразу же провести вспашку. Ведь после уборки зерновых все сорняки, которые под густым покровом культурных растений находились в угнетенном состоянии, получают хорошую возможность для беспрепятственного роста и развития, вплоть до обсеменения. Отказ от лушения почвы при одновременном затягивании сроков проведения зяблевой обработки создает благоприятные условия для повышения потенциальной засоренности почвы семенами сорняков и органами вегетативного размножения. Особенно сильно это проявлялось в годы с влажным предуборочным и послеуборочным периодами. В таких условиях за послеуборочный период на 1 м² может дополнительно накопиться до 2 тысяч семян малолетних сорняков. Интенсивность прироста каждого корневища



пырея ползучего в этом случае достигала 1,1–1,3 см в сутки. Если сразу после уборки провести лущение жнивья, то дополнительное поступление семян сорняков в почву и рост их органов вегетативного размножения прекращается. При этом создаются благоприятные условия для прорастания семян сорных растений, находящихся в верхней части пахотного горизонта. Их всходы затем легко уничтожаются последующей обработкой, и это способствует снижению потенциальной засоренности почвы.

При проведении лущения обязательно необходимо учитывать тип засоренности. Если в посевах преобладают однолетние сорняки, то достаточно однократного лущения на глубину 5–7 см. При наличии корнеотпрысковых сорняков целесообразно провести двукратное лущение на глубину 6–8 и 10–14 см. На полях, где преобладают корневищные сорняки, необходимо проводить двукратное продольно-поперечное лущение на глубину 10–14 см по мере появления всходов сорняков на поверхности почвы. При корневищном типе засорения полей для этой цели следует использовать дисковые орудия. При корнеотпрысковом типе засорения лущение лучше проводить с помощью чизельных агрегатов, оборудованных 150–270-миллиметровыми стрелчатými лапами. В этом случае достигается более полное подрезание и истощение корнеотпрысковых сорняков.

Исследованиями установлено, что лущение перед зяблевой вспашкой уменьшило засоренность посевов последующей культуры на 25% и обеспечило прибавку урожайности зерна ячменя на 2–3 ц/га.

Существует ошибочное мнение, что лущение стерни существенно увеличивает расход топлива на обработку почвы. Это является одной из причин того, что в настоящее время данный агроприем в республике проводится в недостаточном объеме. Наши расчеты показывают, что при лущении агрегатом (трактор 3 класса + КЧ-5,1) расход топлива составляет 6–7 кг/га, а при последующей вспашке трактором 3 класса с плугом ПЛН-5-35 – 15–16 кг/га, т.е. всего 21–23 кг/га. Вспашка без лущения в сухую погоду требует 25 и более кг/га дизельного топлива, что связано с потерей почвенной влаги после уборки зерновых культур и увеличением сопротивления почвы плугу в 1,5 раза. Из вышеизложенного следует, что в сложившихся условиях лущение стерни следует рассматривать как обязательный агроприем на полях, которые убираются в июле-августе. При этом необходимо иметь в виду, что максимальный эффект от послеуборочного лущения отмечается лишь в том случае, если оно проводится не позднее 5–7 дней после уборки. При поздних сроках оно не дает существенного эффекта и не оправдывает затраты на его проведение. Отказаться от лущения можно на тех полях, где в послеуборочный период планируется применение гербицидов на основе глифосата для уничтожения многолетних сорняков.

Основная обработка почвы. В борьбе с сорняками особенно велика роль вспашки, эффективность которой зависит, прежде всего, от сроков ее проведения. Запоздывание с основной обработкой почвы приводит к тому, что сорняки, особенно многолетние, развивают мощную корневую систему, запасают больше пластических веществ, что затрудняет дальнейшую борьбу с ними. При поздней вспашке количество сорняков в посевах зерновых увеличивалось на 71–135 шт/м². Это оказало отрицательное влияние на уровень урожайности возделываемых культур. Потери урожайности зеленой массы однолетних трав при перенесении срока вспашки с августа на октябрь составили в среднем 22 ц/га (7%), зерна ячменя – 5,5 ц/га (11%), овса – 3,6 ц/га (10%), ярового тритикале – 6,2 ц/га (22%), клубней картофеля – 24 ц/га (16%).

Лучшее обеспечение влагой и достаточно высокая среднесуточная температура воздуха, отмечаемые обычно при ранних сроках проведения зяблевой вспашки, созда-



ют благоприятные условия для прорастания семян сорняков, которые дружно всходят осенью, а затем уничтожаются последующими поверхностными обработками или зимними низкими температурами. Это очищает верхний слой почвы от сорняков и снижает засоренность последующих культур. При поздней зяблевой вспашке похолодание препятствует прорастанию из верхнего слоя почвы покоящихся семян сорных растений, что существенно снижает роль этого агроприема в борьбе с сорняками, а также делает неэффективной позднюю полупаровую обработку почвы. Уменьшить отрицательное последствие поздних сроков вспашки можно за счет своевременного и качественного проведения послеуборочного лущения стерни.

В Нечерноземной зоне оптимальные сроки вспашки заканчиваются при понижении среднесуточной температуры воздуха ниже 10°C, т.к. это приводит к значительному уменьшению микробиологической активности в пахотном слое. В центральной части Беларуси это обычно конец сентября, а в южной – первая декада октября. Оптимальным с агротехнической точки зрения является проведение вспашки не ранее, чем через две и не позднее, чем через 4 недели после лущения стерни. В первую очередь надо пахать тяжелые по гранулометрическому составу почвы, затем средние и последними – песчаные. Августовскую раннюю зябь наиболее целесообразно проводить под лен, корнеплоды, кукурузу, ячмень, идущие по стерневым предшественникам. Это обеспечит наибольший эффект в борьбе с сорняками.

Пласт многолетних трав следует пахать плугом с винтовой или полувинтовой формами отвала, укомплектованным углоснимками, причем дернину предварительно нужно продисковать. Пахать поля следует на скорости не менее 8–12 км/час, иначе пласт может плохо оборачиваться, что повышает количество огрехов и увеличивает засоренность последующих культур.

Отвальная вспашка необходима не после любого предшественника, не каждый год и не для каждой культуры. Вспашка нецелесообразна, если она выносит на поверхность значительно больше семян сорняков, чем их имеется в слое почвы 0–10 см, если предшественник оставляет после себя пахотный слой, биологически взрыхленный и достаточно выровненный для того, чтобы за один проход агрегата хорошо подготовить семенное ложе.

Исследования показали, что на окультуренных, чистых от многолетних сорняков полях отвальную вспашку под отдельные культуры можно с успехом заменить безотвальными обработками. Это существенно повышает производительность труда при проведении основной обработки почвы, что позволяет осуществлять ее в оптимальные ранние сроки и, при соблюдении технологических требований, дает возможность избежать увеличения засоренности пахотных земель, которое обычно отмечается при поздних сроках вспашки.

Комбинированная система обработки почвы в севообороте, т.е. чередование безотвальной обработки (чизельной или дисковой) с отвальной вспашкой в наибольшей степени снижало запас семян сорняков в пахотном слое. Ее противосорняковый эффект является следствием суммирования эффекта самоочищения почвы от семян сорняков благодаря периодической заделке засоренной части пахотного слоя вглубь на несколько лет, а также эффекта полупара, который снижает засоренность почвы в годы проведения безотвальных обработок. Эффективность последних в борьбе с сорняками можно повысить не только за счет их сочетания с полупаром, но и в результате последующего возделывания крестоцветных культур в промежуточных посевах. Это имеет значение



для торфяно-болотных почв, интенсивная обработка которых нежелательна из-за усиления их минерализации.

Полупаровая обработка почвы. На ранней зяби хорошие результаты в борьбе с сорняками обеспечивала обработка почвы по типу полупара, предусматривающая проведение нескольких дополнительных культиваций после вспашки по мере отрастания сорняков. Исследованиями установлено, что двукратная культивация зяби уменьшила засоренность ячменя малолетними сорняками на 24,5% и увеличила урожайность этой культуры на 2,8 ц/га. Важнейшее значение этот агроприем имеет также и в борьбе с многолетними сорняками, прежде всего с пыреем ползучим. Полупаровая обработка почвы уменьшала засоренность пыреем ползучим посевов ячменя на 59,3–84,1%.

Наибольший эффект от полупаровой обработки почвы отмечался в годы с продолжительной и теплой осенью. Установлено, что при своевременной вспашке общий запас семян малолетних и многолетних сорняков в пахотном горизонте снижается в среднем на 5,2%. При одной дополнительной культивации зяби это снижение составляет 5,7%, двух культивациях – 18,3%, трех культивациях – 26,2%. Поэтому культивацию зяби необходимо проводить не менее 2–3 раз.

Для получения максимального эффекта от полупаровой обработки необходимо при ее проведении обязательно принимать во внимание гранулометрический состав почвы. Если на легких почвах наибольшая гибель корневищ пырея ползучего отмечалась на вариантах, где в основу полупара был положен принцип «вычесывания» измельченных и запаханых корневищ с помощью культиваций, то на тяжелых почвах с высокой водопоглощающей и водоудерживающей способностью такая полупаровая обработка не обеспечивала положительных результатов. В этом случае две дополнительные культивации зяби увеличивали на тяжелой почве гибель корневищ пырея ползучего в сравнении с контролем (дискование + вспашка) только на 5,8%. В целом гибель корневищ при такой системе полупара в этих условиях составляла только 25,3%. Значительно большая их гибель (51,2%) отмечалась на варианте, где в основу полупаровой обработки почвы был положен принцип «истощения и удушения», т.е. были проведены 2 дискования с разрывом во времени с последующей вспашкой. Метод «вычесывания» корневищ пригоден на тяжелых почвах лишь в засушливую осень.

Использование чизельных культиваторов в послеуборочный период позволяло совместить основную и полупаровую обработку почвы. Причем чизельные культиваторы, снабженные пружинными рабочими органами, надежно работают на всех типах почв, в том числе и на каменистых. Трехкратное применение их с разрывом во времени на тяжелых почвах при проведении полупара являлось более эффективным приемом в борьбе с пыреем ползучим, чем зяблевая вспашка с последующими культивациями. При этом следует отметить, что чизелевание считается энергосберегающим приемом. Расход горючего на традиционную полупаровую обработку составлял 32,68 кг/га, а на вариантах с чизелеванием – 24,99 кг/га.

На полях с невысокой и средней степенью запыреености совмещение основной и полупаровой обработки почвы может быть осуществлено и в результате интенсивного использования в послеуборочный период дисковых орудий. На дерново-подзолистых супесчаных и легкосуглинистых почвах 4-кратное использование с разрывом во времени тяжелой дисковой бороны обеспечило гибель корневищ пырея ползучего в пределах 68,9–84,1%. При проведении послеуборочного лушения с последующей зяблевой вспашкой этот показатель находился на более низком уровне и составил 27,5–32,9%.



Результаты исследований дают основание считать, что безотвальную обработку почвы можно с успехом использовать на полях, засоренных не только однолетними, но и многолетними сорняками при невысокой численности последних. Однако в этом случае интенсивность безотвальных обработок в летне-осенний период должна быть достаточно высокой и составлять не менее 3–4 дискований или 3 чизелеваний, проводимых с разрывом во времени по мере появления всходов сорняков на поверхности почвы. Нарушение сроков, качества и кратности проведения безотвальных обработок, часто имеющее место в условиях производства, приводит к увеличению засоренности полей и формирует негативное отношение у специалистов к использованию безотвальных орудий в системе основной обработки почвы.

Предпосевная обработка почвы. Основными задачами этого элемента технологии являются рыхление и выравнивание верхнего слоя почвы с целью создания благоприятных условий для заделки и прорастания семян, заделки удобрений, уничтожения сорняков. Для уменьшения засоренности посевов следует избегать весенней перепашки зяби. В целях предотвращения размножения пырея ползучего необходимо отказаться от использования при проведении весенней предпосевной обработки почвы дисковых орудий.

Увеличение глубины весенней обработки почвы ведет к повышению засоренности посевов, т.к. при глубоком рыхлении на поверхность почвы извлекается из нижних слоев больше жизнеспособных семян сорняков. Установлено, что численность сорняков в посевах ячменя при глубине весенней обработки почвы 5–7 см составила 83–95 шт/м², а при ее увеличении до 10–12 см этот показатель был равен 113–121 шт/м². Глубокое весеннее рыхление почвы способствует также чрезмерному иссушению ее верхнего слоя, что отрицательно влияет на урожайность возделываемых культур.

Удобрения. Рациональное питание существенно улучшает условия роста и развития культурных растений, что обычно повышает их конкурентоспособность по отношению к сорнякам. В то же время необходимо отметить, что применение удобрений является действенным фактором биологического подавления сорняков только при правильном чередовании культур в севообороте и высоком уровне агротехники. При нарушении севооборота и агротехники удобрения, наоборот, способствуют увеличению массы сорняков, т.е. могут повышать их вредность. Для уменьшения засоренности посевов сельскохозяйственных культур важное значение имеет также правильное приготовление и хранение органических удобрений. Ведь с некачественным навозом в почву вносится на 1 м² до 1,2 тысяч жизнеспособных семян сорняков. Для предотвращения этого подстилочный навоз и торфонавозные компосты необходимо вносить лишь после хранения рыхлым «горячим» способом в буртах в течение 5–6 месяцев в осенне-зимний и 3–4 месяцев в весенне-летний периоды, причем бурты в период хранения должны быть укрыты землей, торфом или соломой. Установлено, что при шестимесячном хранении подстилочного навоза в неукрытых буртах содержание в нем жизнеспособных семян сорняков снизилось в среднем на 76%, а в укрытых 20–30 сантиметровым слоем соломы – на 94,3%.

Сроки сева. Большое значение для повышения конкурентоспособности зерновых по отношению к сорнякам имеет своевременность их посева. Запаздывание с посевом ведет к сильному засорению полей. Посев ранних колосовых в предельно сжатые ранние сроки при достижении физической спелости почвы создает условия для фитосанитарного благополучия полей. Ранние посевы яровых зерновых не только более успешно конкурируют с сорняками по сравнению с поздними посевами, но и частично



уходят от повреждения некоторыми вредителями. Запаздывание с посевом создает предпосылки для увеличения объемов применения пестицидов, а при раннем сроке сева уменьшается необходимость их использования. В то же время следует отметить, что чрезмерно ранние сроки посева озимых зерновых нежелательны, т.к. при их посеве значительно раньше установленных для каждой зоны оптимальных сроков зачастую отмечается не только перерастание культурных растений, но и повышение повреждаемости их вредителями и болезнями, а также увеличение засоренности полей.

Нормы высева. Немаловажное значение в борьбе с сорняками имеет норма высева зерновых культур. Ведь наибольшая степень засорения имеет место обычно в разреженных посевах, а плотный стеблестой зерновых более успешно конкурирует с сорняками и даже подавляет некоторые из них. Более сильно эта закономерность проявлялась в засушливые годы. В прохладных и влажных условиях конкурентоспособность и вредоносность сорняков существенно возрастала, поэтому в такие годы значимость уплотнения стеблестоя зерновых в борьбе с сорняками снижалась. Следует иметь в виду, что при чрезмерном загущении посевов очень часто отмечалось их полегание, что создавало благоприятные условия для роста и развития сорных растений, повышая их вредоносность.

Боронование. Уменьшить засоренность зерновых малолетними сорняками можно за счет проведения боронования посевов. Наиболее чувствительной фазой к механическим обработкам у сорняков является период с момента появления проростков до образования семядольных листьев или первого настоящего листа. Этот период называют фазой «белой нити». Поэтому довсходовое боронование яровых зерновых, которое проводится именно в эту фазу развития сорняков, является наиболее эффективным в борьбе с ними. Заканчивать довсходовое боронование следует, когда ростки яровых зерновых культур достигают длины не более 1,0–1,5 см. Несомненный интерес этот агроприем представляет так же для кукурузы и некоторых других яровых культур. На почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава надо применять средние бороны, а на легких почвах – посевные (легкие) или сетчатые. Боронование следует проводить по диагонали или поперек рядков при скорости движения не более 7 км/ч. Зубья бороны при этом должны быть расположены «скосом вперед».

Установлено, что эффективность довсходового боронования на разных типах почв неодинакова. Если на легкосуглинистой почве оно уменьшало количество малолетних сорняков в посевах ячменя на 50% и обеспечило прибавку урожайности зерна 3,6 ц/га, то на тяжелосуглинистой почве эти показатели были значительно ниже и составили соответственно 15,6% и 1,8 ц/га.

Невысокая эффективность довсходового боронования на тяжелых почвах объясняется тем, что в этих условиях имеет место меньшее заглубление борон в почву и худшее сепарирование верхнего слоя почвы при бороновании. Это снижает повреждаемость проростков сорняков при проведении указанного агроприема. Кроме того, лучшая влагообеспеченность тяжелых почв способствует повышению приживаемости поврежденных сорняков, что также снижает эффективность довсходового боронования. Однако основной причиной невысокой эффективности довсходового боронования зерновых в этих условиях является то, что на холодных тяжелых почвах развитие культурных и сорных растений происходит медленнее, чем обычно, и фаза «белой нити» у основной массы сорняков наблюдается значительно позже.

Наиболее эффективным на средних и легких почвах довсходовое боронование было в годы с холодными и дождливыми веснами. Прибавка урожайности ячменя



от его проведения в этом случае достигала 4–5 ц/га. На величину прибавки урожайности в таких неблагоприятных метеоусловиях оказывало положительное влияние не только снижение засоренности посевов, достигаемое за счет боронования, но и уничтожение почвенной корки. Это улучшало водно-воздушный режим верхнего слоя почвы, повышало его микробиологическую активность и, следовательно, улучшало условия роста и развития культурных растений.

Весьма важно также и послеуборочное боронование кукурузы. Его надо проводить при необходимости в фазу 3–4 листьев культурных растений, когда они хорошо укореняются. Боронование посевов следует проводить в жаркое время дня при потере тургора растениями, чтобы они меньше повреждались боронами. Подбор борон и скорость движения агрегата по полю при послеуборочном бороновании такие же, как и при доуборочном.

Боронование озимых зерновых культур имеет некоторые особенности. Проведение его в осенний период как до появления всходов, так и после их появления, оказалось малоэффективным, а в отдельные годы оно вызывало даже снижение урожайности. Наиболее эффективным на посевах озимых является ранневесеннее боронование при первой возможности выхода техники в поле, когда почва начинает крошиться и не образуются колея от прохода трактора. Особенно актуален этот агроприем в годы с эпифитотийным развитием снежной плесени. Определенное значение весеннее боронование озимых зерновых культур имеет и в борьбе с сорняками. Гибель малолетних сорных растений в посевах озимой ржи в этом случае достигал 58%. Опоздание с боронованием на 10 дней и более не оправдывает затрат на его проведение, поскольку не увеличивает урожайность. Не следует проводить боронование озимых зерновых на тех полях, где осенью применялись гербициды, т.к. это приводит к уменьшению их эффективности из-за разрушения гербицидного экрана, образующегося на поверхности почвы.

Предупредительные меры в борьбе с сорняками. Для снижения засоренности посевов зерновых культур необходима тщательная очистка от семян сорняков не только посевного материала, но и сельскохозяйственных машин и орудий, транспортных средств, мешкотары. Семена многих видов сорняков переносятся ветром, поэтому следует уничтожать сорную растительность до цветения на обочинах дорог, канав, около животноводческих ферм и навозохранилищ, машинных дворах, необрабатываемых землях и пустырях. Отходы зерна после обмолота или сортирования следует скармливать животным в размолотом или запаренном виде. Только при этом условии семена сорняков, находящиеся в отходах, не попадут в навоз и не увеличат засоренность полей.

Выводы и предложения

На основании вышеизложенного можно заключить, что для дальнейшего повышения урожайности сельскохозяйственных культур, наряду с применением высокоэффективных пестицидов, важное значение имеет проведение комплекса агротехнических мер борьбы с вредными организмами. Основными агроприемами в этом отношении являются соблюдение севооборота, рациональная система обработки почвы, оптимизация сроков сева, системы питания растений, плотности стеблестоя, правильное приготовление и использование органических удобрений, проведение при необходимости боронования посевов и т.д. Эти мероприятия позволят улучшить фитосанитарное состояние полей, а также существенно повысят эффективность и стабильность применения химического метода защиты растений при возделывании сельскохозяйственных культур.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булавин, Л.А. Эффективность промежуточных крестоцветных культур в борьбе с сорняками в посевах зерновых / Л.А. Булавин [и др.] // Ахова раслін. – 2001. – № 5. – С. 78.
2. Баздырев, Г.И. Сорные растения и борьба с ними / Г.И. Баздырев, Б.А. Смирнов. – М. : Московский рабочий, 1986. – 188 с.
3. Булавин, Л.А. Агрэкалагічныя аспекты адаптыўнай інтэнсіфікацыі земледелля / Л.А. Булавин. – Минск : Хата, 1999. – 248 с.
4. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур. : сб. отраслевых регламентов. – Минск : «Белорусская наука», 2005. – 362 с.
5. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
6. Залатар, А.К. Змяненне засмечанасці пасеваў ячменю пустазеллем у залежнасці ад папярэдніх культур / А.К. Залатар, Т.М. Юрэвіч // Весці ААН Беларусі. – 1994. – № 2. – С. 32–35.
7. Белов, Г.Д. Влияние обработки почвы на засоренность посевов полевых культур / Г.Д. Белов, Г.В. Симченков, Л.Д. Барташевич // Агротехнический метод защиты полевых культур. – М., 1981. – С. 111–114.
8. Усеня, А.А. Агрэканомічныя асновы выкарыстання многалетніх трав у спецыялізаваных севаоборотах на дерново-подзолистых почвах : дисс. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / А.А. Усеня ; Институт земледелия и селекции. – Жодино, 1997. – 125 с.
9. Никончик, П.И. Почвенно-экологические возможности производства и экспорта продукции сельского хозяйства при различных уровнях ведения земледелия и животноводства в сельскохозяйственных организациях Беларуси / П.И. Никончик // Земляробства і ахова раслін. – 2010. – № 5(72). – С. 5–10.
10. Юрчак, Л.Д. Аллелопатическая и микробиологическая оценка кормовых растений семейства крестоцветных / Л.Д. Юрчак, Ю.А. Утеуш // Взаимодействие растений и микроорганизмов в фитоценозах. – Киев, 1977. – С. 161–167.

A.S. Shyk, L.A. Bulavin, T.M. Bulavina, S.S. Nebyshinets. Perfection of Agrotechnical Measures of Struggle against Weeds, Wreckers and Illnesses - a Major Factor of Improvement of Phytosanitary Condition of Fields

In the article the results of the researches on studying the efficiency of the application of basic agrotechnical actions in the struggle against weeds, wreckers and illnesses in crops of agricultural crops in the conditions of the Republic of Belarus are stated. It is established, that the differentiated approach to use adaptive technologies in view of high-quality features of each culture is necessary to get maximal efficiency

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 09.11.2010



УДК 551.79:561(476)

Я.К. Еловичева, В.В. Махнач

ПРИРОДНАЯ СРЕДА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОШЛОГО ЗЕМЛИ В КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЭТАПА И БУДУЩЕГО БЕЛОРУССКОГО РЕГИОНА

В работе показано практическое применение научных материалов по изучению геологического прошлого Земли применительно к настоящему времени и обоснованности прогнозирования развития компонентов природной среды в будущем. Дано четыре варианта эволюции климата региона на основании палинологических данных.

Актуальность геологических, палеонтологических и геохронологических исследований отложений Земной коры в целях углубленного познания этапности, эволюции основных компонентов природной среды и разработки детальных климато-стратиграфических шкал на основе методов абсолютного датирования несомненна. Сравнение же нынешнего состояния природы Земли с особенностями ее развития в геологическом прошлом позволяет на научной основе прогнозировать и тенденцию ее изменения в будущем. Согласно имеющимся данным, в геологическом прошлом Земли отмечались неоднократные оледенения [1]: по три в рифее и венде (Африканская гляциоэра), ордовике, силуре, девоне, три в перми (Гондванская гляциоэра), отделенных в мезозое Сибирской термоэрой от кайнозойского оледенения (Лавразийская гляциоэра).

Новейшая глобальная температурная кривая проекта PALEOMAP-2008 (США) отразила основные климатические вехи в истории Земли [2]: в сравнении с нынешней средней температурой воздуха планеты в 12–13°C четко выделено четыре длительных отрезка времени с максимумами температуры воздуха до 25–27°C (кембрий – первая половина ордовика, средний и поздний силур – ранний и средний девон, поздняя пермь – триас – средняя юра, средний и поздний мел – ранний палеоген или палеоцен; **превышение температуры воздуха составляло 7–10°C** на фоне плейстоценовых межледниковых эпох всего в 1,5–4°, и показано существование четырех интервалов существенно низких температур (до 10°C) в ранге оледенений – в рифее, в конце ордовика, в конце карбона – начале перми, наконец, в плейстоцене, который знаменовался не самыми низкими температурами воздуха (не ниже 11–12°C); при этом в поздней юре – начале мела и в середине кайнозоя (на границах эоцен-олигоцена, палеоген – неогена) отмечалось еще два похолодания климата, когда температура воздуха Земли снижалась до 16–17°C (рисунок 1).

Самое молодое в истории Земли кайнозойское оледенение (Лавразийская гляциоэра) охватывает временной интервал последней четверти кайнозоя, который известен под названием четвертичный период (или антропоген – по появлению в это время «человека разумного»). Нижняя ее граница в последние годы постепенно удревняется учеными (от 1,0 до 3,0 млн. лет) в связи с новыми абсолютными датировками найденных костных останков древнего человека. Четвертичный период (или антропоген) включает часть эоплейстоцена, а также мезоплейстоцен и неоплейстоцен (что, собственно, подразумевает гляциоплей-стоцен/квартер), и голоцен (последние 10 300 лет). Как видно из рисунка 1, гляциоплей-стоцен (квартер), как один из четырех достоверно вышеозначенных интервалов существенно низких



тэмператур воздуха (до 10°C) в ранге оледенений, знаменовался не самыми низкими их величинами (не ниже 11–12°C).

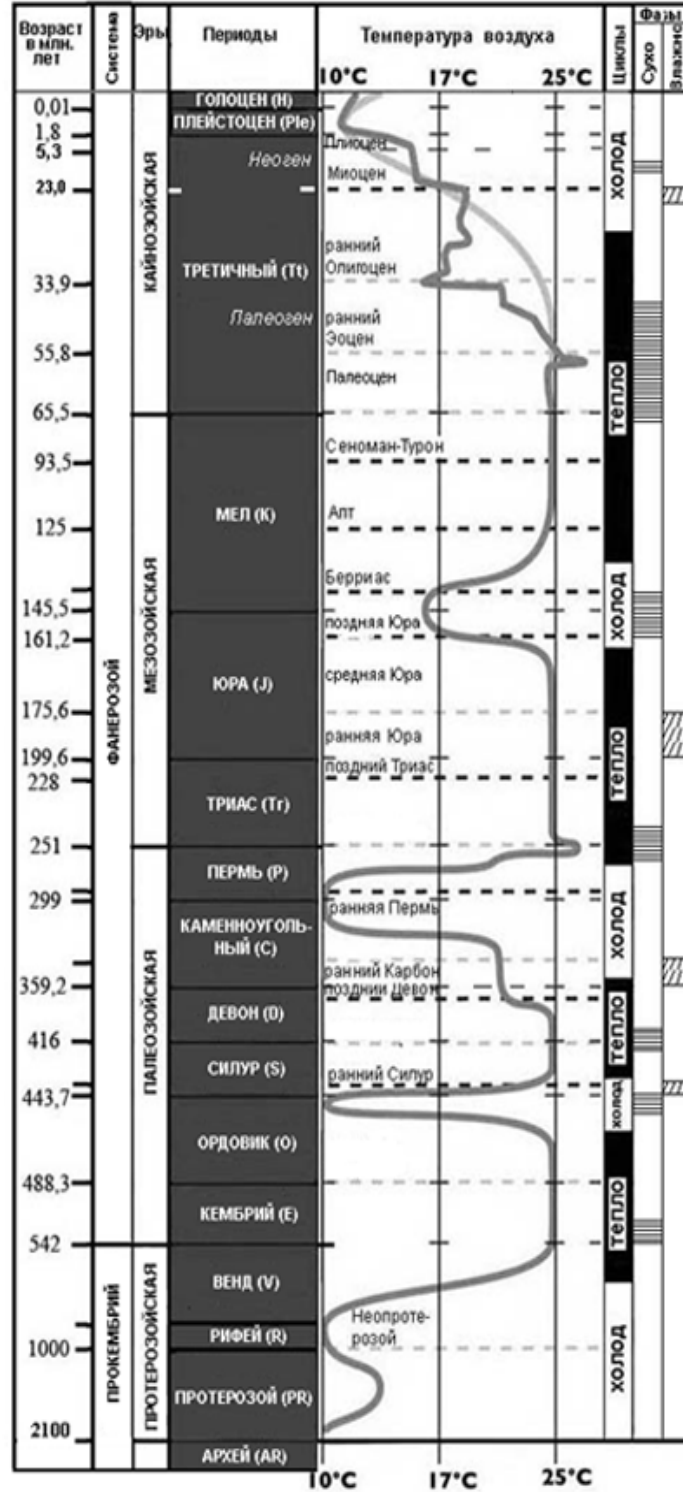


Рисунок 1 – Глобальная температурная шкала Земли [4] с дополнениями В.В. Махнача и Я.К. Еловичевой



В действительности он представлял собой сложный палеогеографический этап, которому была свойственна резко измененная направленность климатической ритмики (рисунок 2), выразившейся в неоднократном чередовании 8 ледниковых (2–4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 и я.) и 8 межледниковых (1, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 и я.) эпох с переходным этапом/интервалом от неогена к гляциоплейстоцену (19-й и я.). Объем гляциоплейстоцена в целом отвечал 19 изотопно-кислородным ярусам (от 0,01 до 0,8–0,9 млн. лет) в соответствии с новыми данными о строении изотопно-кислородных шкал северного полушария [3].

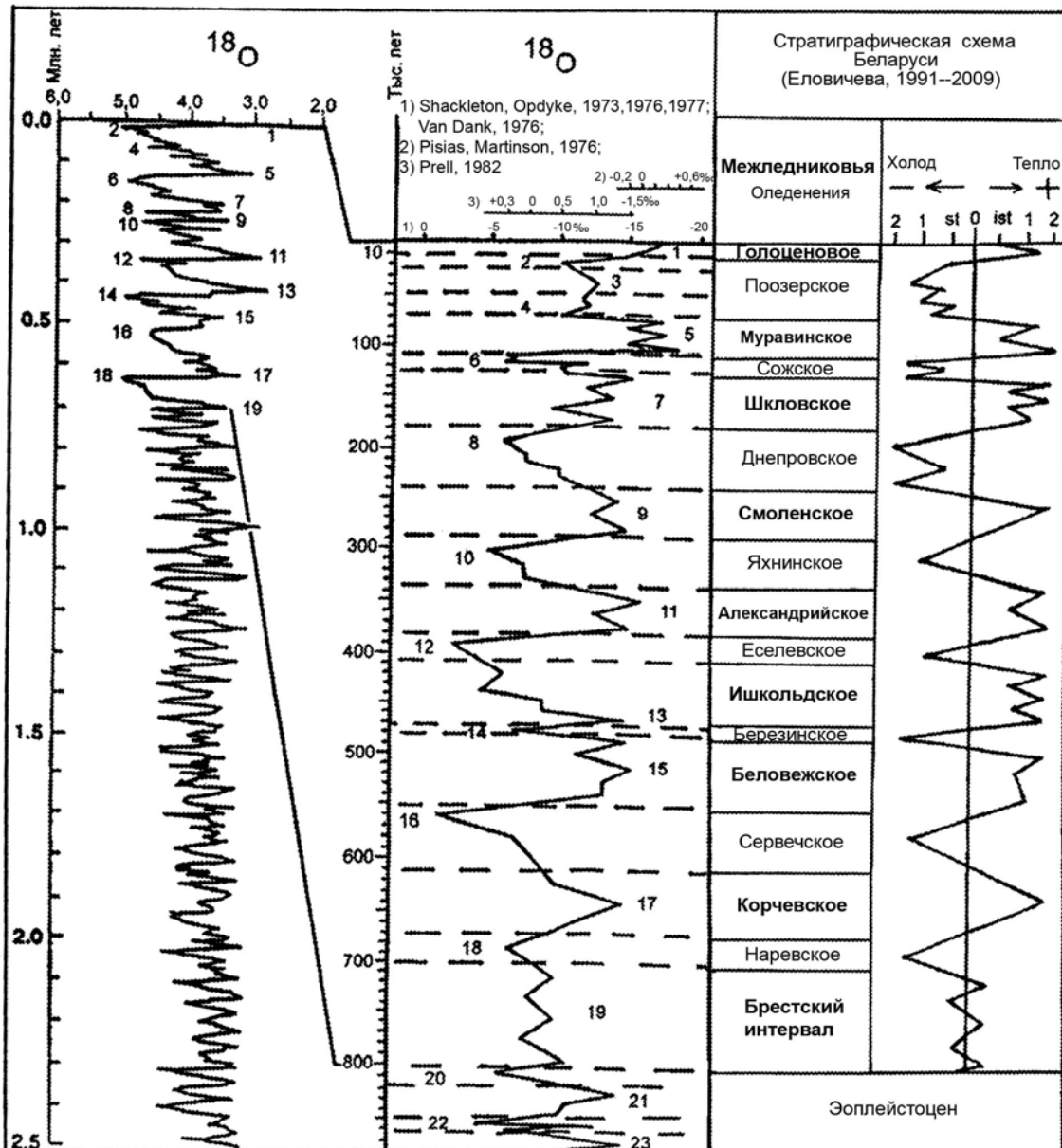


Рисунок 2 – Корреляция климато-стратиграфических и изотопно-кислородных шкал гляциоплейстоцена по океаническим отложениям северной Атлантики и континентальным образованиям Европы

Голоцен (современная эпоха кайнозойской эры) продолжительностью в 10 300 лет с позиции сохранения климатической ритмичности «оледенение/межледниковье»



приходится на 1-й изотопный ярус и является естественным продолжением плейстоцена в ранге самостоятельного межледниковья, отличающегося проявлением влияния на природную среду антропогенного фактора.

Корреляция природных событий гляциоплейстоцена по североатлантическим океаническим и европейским континентальным образованиям в северном полушарии (а также применительно к территории Беларуси) показала сходимость наших представлений об этапах, эволюции климата и основных компонентов природной среды [4; рисунок 2]. Детальная стратиграфия озерных, болотных и речных отложений по составу палиноспектров и фаз развития растительности, специфика макросукцессий палеофитоценозов, реконструкция климатических показателей для оптимумов межледниковий и голоцена обосновали следующие закономерности в развитии природной среды квартера Беларуси:

1. Последовательность максимумов лесообразующих пород в межледниковье выражает *макросукцессию палеофитоценозов*, наличие которой обосновывает накопление осадков с вмещающими их растительными микрофоссилиями *in situ* и корректность выделения вторых и третьих оптимумов, а отсутствие говорит в пользу переотложения пыльцы мезо- и термофильных пород, древних спор.

2. При динамике ледников общая направленность *макросукцессий палеофитоценозов* межледниковий квартера характеризует широтную миграцию природных зон, которая происходила не столько по причине нарастания температуры, сколько по ее длительности и амплитуде и увеличению влажности.

3. Длительность межледниковий квартера определяется числом климатических оптимумов и разделяющих их межоптимальных похолоданий; по аналогии с продолжительностью пока *однооптимального* и *незавершенного* голоценового межледниковья в 10 300 тыс. лет и с учетом еще предстоящей фазы *Betula*, завершающей полный цикл развития растительности голоцена, длительность однооптимального межледниковья могла достигать около 12–15 тыс. лет, двухоптимального – в пределах 40 тыс. лет, трехоптимального – до 60 тыс. лет.

4. Климат оптимумов межледниковий квартера был более теплым (t° года на 2,5–4° выше) и влажным (осадков на 350 мм больше) по сравнению с оптимумом голоцена (до этапа «глобального потепления» t° года превышала показатели 1970–80 гг. всего на 1–2°, количество осадков выше на 50 мм); для сравнения: по палинологическим данным в ледниковья минимальные температуры воздуха в регионе снижались на 13–16°.

5. Зона широколиственных лесов в наиболее теплое муравинское/земское межледниковье простиралась до Санкт-Петербурга, а в оптимум голоцена хоть и занимала всю территорию Беларуси, но северная ее граница лишь немного превышала нынешнюю.

6. Экзотичность палинофлоры межледниковий квартера указывает на ее более западный центр концентрации ископаемых видов по сравнению с современным положением территории региона и специфичностью флористического состава.

7. Ритмичность в проявлении оледенение/межледниковье на протяжении квартера убеждает в смене голоценового межледниковья новейшим оледенением.

8. Изотопно-кислородные шкалы из донных осадков Мирового океана и керн льдов Гренландии и Антарктиды охватывают временной интервал до 1 млн. лет, доказывая, что ни в одно теплое и влажное межледниковье эти мощные толщи льда полностью не растаивали, сохранив свидетельства последовательности и динамики климата в комплексном сочетании с величинами солнечной радиации.



9. Результатом глобального по масштабу и длительного потепления климата на протяжении самой теплой в гляциоплейстоцене *муравинской межледниковой эпохи* были значительно крупные изменения в природной среде: в составе растительности мезофильные и термофильные древесные породы имели доминирующее значение с участием экзотов, широколиственные леса были распространены на огромной площади Восточно-Европейской равнины (северная их граница доходила до Санкт-Петербурга) и в Западной Сибири; границы природных зон продвигались еще дальше к северу; исчезли арктическая и тундровая зоны, на их месте на севере Европы располагалась зона тайги; уровень Мирового океана поднимался до отметок +100 м.

В отношении самой молодой эпохи развития природы Земли – **голоценовой** – следует отметить следующие ее закономерности:

1. Не только с позиции климатической ритмичности, но и по наличию *межледниковой* (хотя и незавершенной еще фазой *Betula*) *макросукцессии палеофитоценозов* голоцен также представляет собой самостоятельное межледниковье 1-го изотопного яруса; на его протяжении развитие природной среды осложнялось и проявлением антропогенного фактора, а максимум трансформации естественных ландшафтов свойственен постоптимальному интервалу – суббореальному и в особенности субатлантическому периодам.

2. Голоценовому межледниковью свойственен пока один климатический оптимум, который существовал в атлантический период в интервале от 5 до 8 тыс. л. н. (рисунок 3) и характеризовался превышением температуры на 1,5–2°.

3. Климатические условия оптимума голоценового межледниковья длительностью в 3 000 лет привели к повсеместному развитию на территории Беларуси многоярусных широколиственных лесов с подлеском из орешника и обильными ольшаниками в условиях умеренно континентального, тёплого и влажного климата с умеренно-мягкой зимой. Район распространения атлантической флоры характеризовался средней январской температурой от –3 до –6°С (больше нынешней на 1–2°С), июльской +18 – +21°С (превышение на 1,5–2°С), годовой – +6,5 – +9,5°С (выше на 1,5°С), средним годовым количеством осадков до 600–700 мм (больше на 50 мм) [4]. Это было связано с увеличением суммарной солнечной радиации и преобладанием более интенсивного западного переноса воздушных масс из Атлантики, что сказалось уже не только на характере отдельных компонентов атмосферы, гидро-, криосферы (исчезновение ледниковых покровов в Евразии и Северной Америке, снижение ледовитости Арктики и гор юга России) и рельефе (исчезли ледниковые покровы, уменьшились абсолютные высоты, исчезла ледовая нагрузка и началось гляциоизостатическое поднятие районов, покрытых ранее ледовыми щитами), но и вызвало трансгрессию Мирового океана (уровень воды повысился на 10 м, была затоплена часть шельфа на севере Сибири, образовался Берингов пролив, разобшив Евразию с Северной Америкой). Это способствовало формированию Северо-Атлантического теплого течения, проникновению его ветвей в Арктический бассейн и отоплению европейского и части азиатского секторов Арктики, сократилась площадь вечной мерзлоты на севере Евразии, арктическая пустыня полностью исчезала с Евроазиатского материка; произошел сдвиг природных зон к северу (тундра сохранялась лишь узкой полосой вдоль побережий, расширилась площадь лесных ландшафтов из хвойных и широколиственных лесов, достигших наибольшего разнообразия флоры, однако без участия экзотов в ее составе).

4. Тренд климатической кривой самого молодого голоценового межледниковья (рисунок 3) указывает на завершение первого (атлантического) оптимума, последующее по-



холодание климата, изменение характера растительности и снижение мощности и скорости осадконакопления в современных озерах, что привело к последовательной миграции в регион зон смешанных лесов, а затем и тайги. Этот постоптимальный интервал (последние 5 тысяч лет) с нисходящим температурным трендом свойственен концу межледниковой эпохи. На 70–80-е гг. XX в. данная фаза

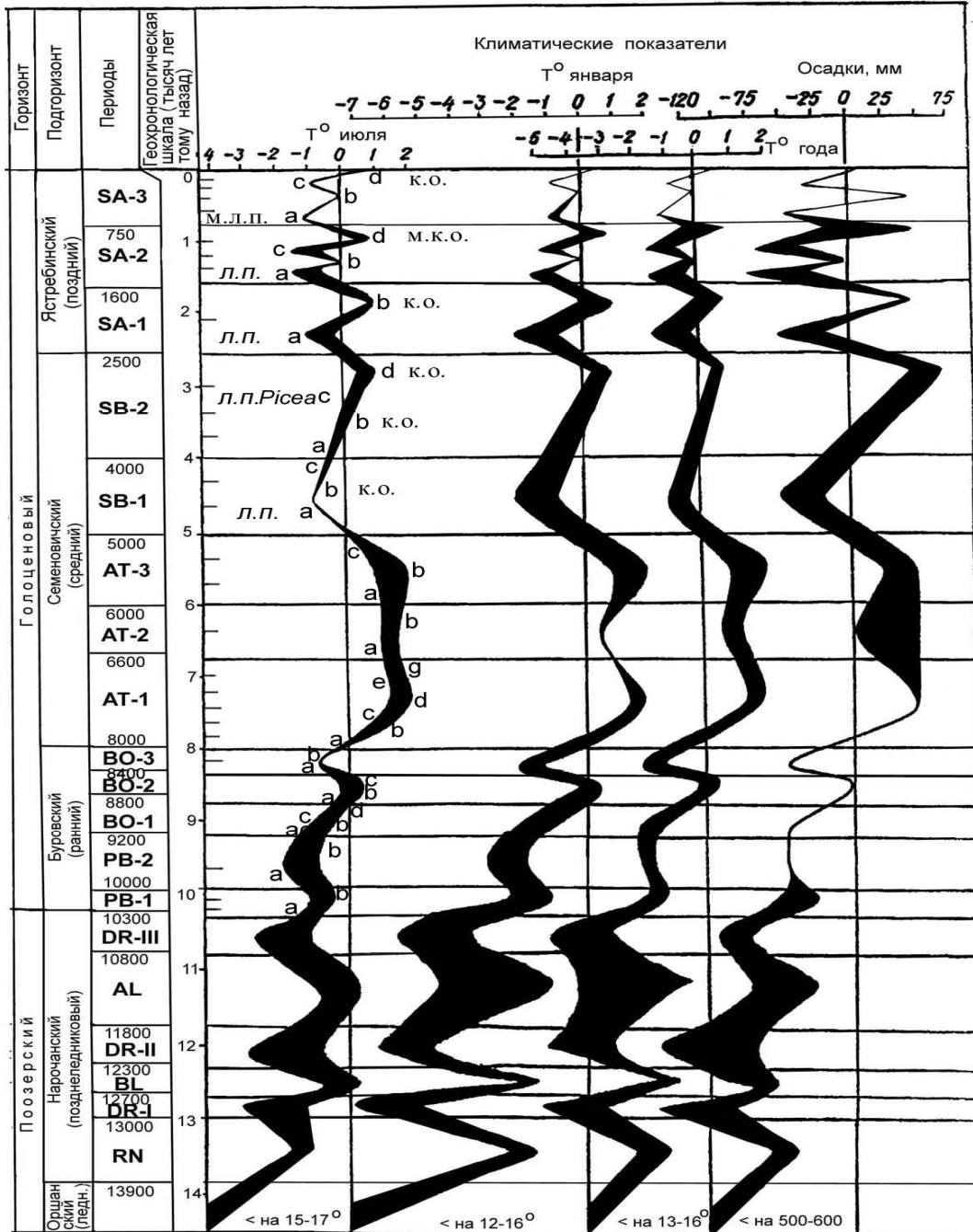


Рисунок 3 – Климатостратиграфическая схема поозерского позднеледниковья и незавершенного голоценового межледниковья Беларуси [4]

Pinus (SA-3) длительностью уже в 750 лет отвечала развитию на юге региона зоны южной тайги, а в центре и севере – средней тайги, соответствовала нынешним климатиче-



ским показателям и положению современного этапа человечества. Сохранение и в дальнейшем направленности этого природного тренда должно было бы привести к последующей миграции в регион закономерной фазы *Betula* (северная тайга), на что потребуется не менее 1–2 тыс. лет по аналогии с финалом древнейших межледниковий плейстоцена, которой в совокупности с миграцией холодолюбивой аркто-бореальной флоры и завершится в будущем естественная сукцессия растительности в преддверии новейшего оледенения.

5. Если продолжительность *однооптимального* и *незавершенного* голоценового межледниковья оценивается нами в 10 300 лет, то с учетом предстоящей фазы *Betula* длительность однооптимальной голоценовой межледниковой эпохи в целом составит около 12 тыс. лет.

6. **Последнее столетие XX в.** ознаменовалось чередованием в пределах $\pm 0,5$ – 1°C двух похолоданий (1910–1920-е, 1960–1970-е гг.) длительностью по 20 лет и двух потеплений (1930–1950-е, 1980–2000-е гг.) продолжительностью по 30 лет. В короткое **потепление 1930–1950-х гг.** изменение климата за 30 лет затронуло лишь отдельные компоненты гидросферы (изменение речного стока, снижение ледовитости Арктики) и атмосферы (рост солнечной постоянной, уменьшение замутнения), а на естественном растительном покрове оно отразилось слабо и сдвига природных зон не произошло.

7. Отмеченный метеорологическими наблюдениями и ощущаемый уже человечеством с **80-х гг.** XX века новый этап (SA-4) **«глобального потепления климата»** с нарастанием температуры воздуха в 1°C уже на 2010 г. может рассматриваться в четырех вариантах: а) как аналог кратковременного потепления 1930–1950-х гг.; б) в ранге «малого климатического оптимума» при 1000-летнем ритме последних 5 000 лет (увеличение температуры не более чем на $+1$ – $1,5^\circ\text{C}$ вызвало небольшое увеличение в составе растительности роли мезо- и термофильных пород); в) как начало второго климатического оптимума голоцена (в сравнении с первым атлантическим оптимумом длительностью в 3 000 лет от 5 до 8 тыс. л. н. превышение температуры на $1,5$ – 2°C пока еще не достигнуто); г) как завершение гляциоплейстоцена кайнозойской эры и наступление потепления климата Земли глобального масштаба.

Прогноз этапа «глобального потепления климата», вызвавшего выделение на юге Беларуси еще одной агроклиматической зоны, обосновывает надежность ведения в пределах всего региона лесовосстановительных работ с широким использованием светлохвойных (сосны на древесину) и термофильных (дуб, вяз и др.) пород с учетом усиления ими процесса фотосинтеза, возможность расширения площади южных агрокультур (рапс, подсолнечник, соя) на север Беларуси, ограниченность посадки темнохвойных пород (пик их естественного развития приходился на 1 000–1 500 л. н. и состояние их ценозов ныне весьма неустойчиво [5]).

При этом следует учесть, что нынешняя фаза сосны SA-3 может и не отвечать финалу однооптимального голоценового межледниковья, а проявиться в ранге промежуточного похолодания между уже завершенным первым атлантическим и будущим вторым оптимумами. В этом случае вместо ожидаемой миграции в регион бетулярного ценоэлемента будет иметь место более широкое распространение мезо- и широколиственных пород в дополнении с увеличением влажности климата во второй половине этапа «глобального потепления». Мы должны считаться также и с тем, что по аналогии с многооптимальными межледниковьями квартера и голоценовое межледниковье может быть и более длительным за счет развития второго, и, возможно, третьего оптимумов (распространение в регионе зоны широколиственных пород) и разделяю-



ших их межоптимальных похолоданий (развитие фаз сосны и березы без участия представителей перигляциальной флоры).

Ход новой глобальной температурной кривой Земли [2; рисунок 1] свидетельствует о том, она завершается в голоценовом межледниковье трендом роста температуры воздуха Земли уже до 13°C и дает новое обоснование предположить, что гляциоплейстоцен как всего лишь последняя треть позднего кайнозоя имеет тенденцию к завершению, и мы на себе испытываем наступление нового природного феномена – начало очередного потепления климата Земли глобального масштаба, сравнимого с природными ситуациями основных геологических периодов Земли (кембрий – первая половина ордовика, средний и поздний силур – ранний и средний девон, поздняя пермь – триас – средняя юра, средний и поздний мел – ранний палеоген или палеоцен), имевших значительно более высокую температуру (превышение от 4°C и выше) по сравнению с межледниковьями квартала нашего региона. На это указывает факт завершения максимума распространения позднекайнозойского оледенения в днепровскую ледниковую эпоху еще около 180 тыс. лет назад и поступательное сокращение в последующем площадей двух последних оледенений (сожского/вартинского – 110 тыс. л. н. и поозерского/вистулианского – 10,3 тыс. л. н.) на фоне увеличения теплообеспеченности разделявших их межледниковий (шкловского и муравинского).

Версия о завершении гляциоплейстоцена и прогрессивном нарастании температуры планетарного масштаба в определенной мере объясняет происходящую активизацию вулканической деятельности, увеличение числа ураганов, частоту и разрушительную силу цунами, смену климата на более теплый и сухой, снижение биоразнообразия Земли подобно тому, как это происходило в древние геологические эпохи, известные как проявления глобального катаклизма. При этом соотношение изменения природных компонентов во взаимосвязи Мировой океан – Атмосфера является основным в эволюции природы Земли, а влияние человека лишь осложняет эту взаимосвязь, а порой принимает и угрожающие масштабы при трансформации и разрушении современных ландшафтов. Развивающееся ныне «глобальное потепление» может быть в значительной степени связано с естественным перераспределением тепла между океанами и материками за счет внутренней динамики климатической системы Земли. Весьма любопытна оценка графиков эквивалентных широт по Ш.Г. Шараф и Н.А. Будниковой, сопоставленных с основными эпохами оледенений и межледниковий за последний миллион лет (а) и будущий миллион лет (б) [6; рисунок 4]. Не вдаваясь в точность возрастного положения последних на геохронологической шкале по материалам этих авторов на 60–70-е гг. XX в., отчетливо видно, что по прогнозу голоценовое межледниковье после первого атлантического оптимума действительно имело тенденцию к своему завершению в виде небольшого похолодания климата в ранге промежуточного, а в дальнейшем (в ближайшие 165 тыс. лет) прогнозируется еще 4 оптимума этого же межледниковья с промежуточными похолоданиями. На этом голоценовое межледниковье завершится, и лишь где-то около 170 тыс. лет наступит новая эпоха оледенения. При этом ритмичность ледниковье/межледниковье продолжает существование позднекайнозойской ледниковой эпохи.

Таким образом, в настоящее время как никогда ранее актуальны данные о состоянии природной среды геологического прошлого, о котором мы получаем



надежную научную інфармацыю с помощью методов постоянно развивающегося направления – эволюционной географии.

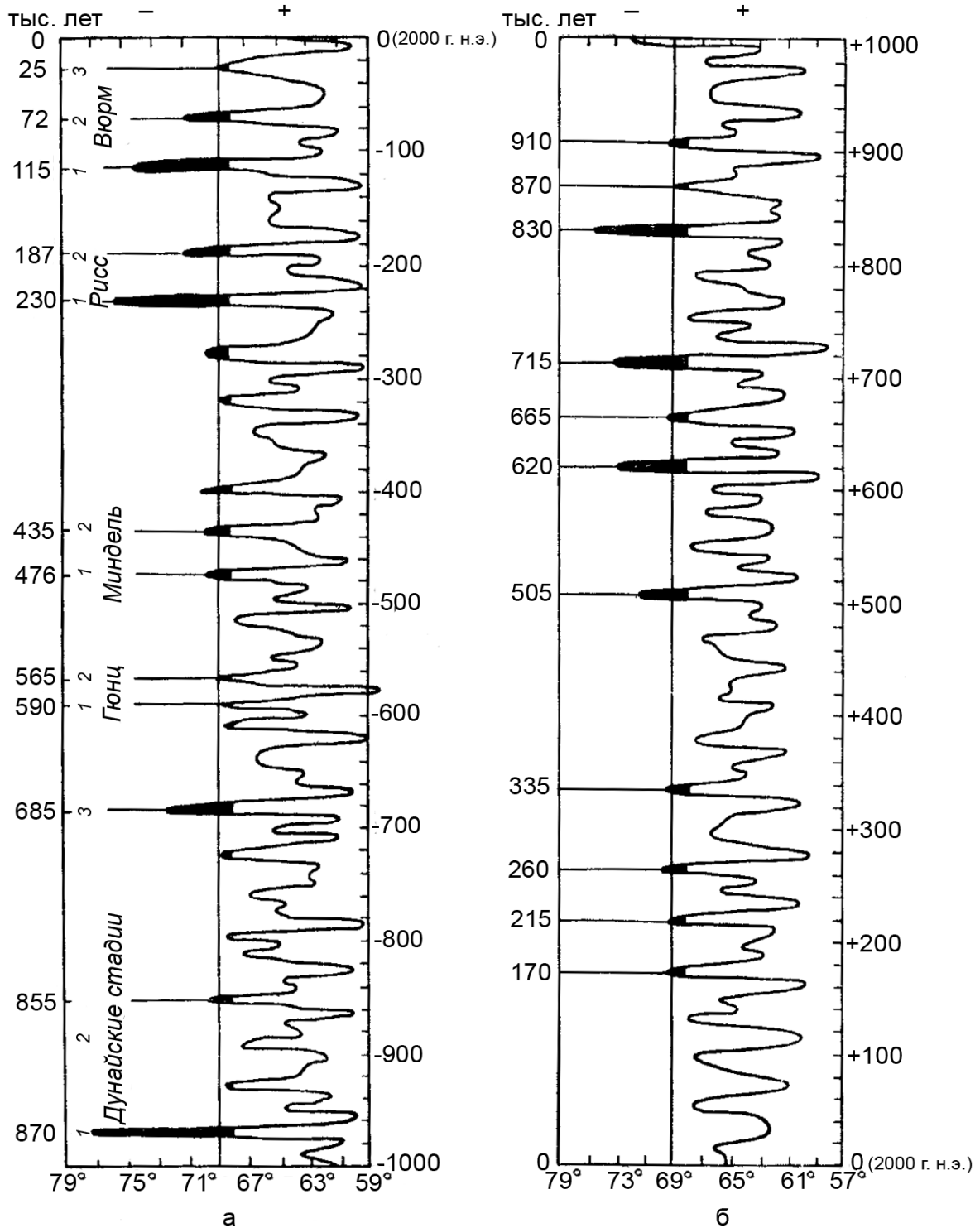


Рисунок 4 – Графики эквивалентных широт по Ш.Г. Шараф и Н.А. Будниковой, сопоставленные с эпохами оледенений и межледниковий за последний миллион лет (а) и будущий миллион лет (б) [6]



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рич, П.В. Каменная книга / П.В. Рич, Т.Х. Рич, М.А. Фентон. – М. : Наука. – 1997. – С. 623.
2. Benton Michael, J. Introduction to paleobiology and the fossil record / J. Benton Michael, A.T. Harper David. – Hong Kong, 2009. – 605 p.
3. Никифорова, К.В. Хронологическая шкала четвертичной системы (антропогена) / К.В. Никифорова, Н.В. Кинд, И.И. Краснов // Доклады 27-го Междунар. геологического Конгресса. Секция С03. – Т. 3. : Четвертичная геология и геоморфология. – М. : Наука, 1984. – С. 22–32.
4. Еловичева, Я.К. Эволюция природной среды антропогена Беларуси (по палинологическим данным) / Я.К. Еловичева. – Минск : Белсэнс, 2001. – 292 с.
5. Еловичева, Я.К. Палинологическая оценка антропогенной трансформации ландшафтов Беларуси / Я.К. Еловичева // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии : материалы IV Междунар. научной конф. к 100-летию со дня рождения проф. В.А. Дементьева, БГУ, Минск, 14–17 окт. 2008 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: И.И. Пирожник [и др.]. – Минск, 2008. – С. 154–156.
6. Монин, А.С. История Земли / А.С. Монин. – Л. : Наука, 1977. – 228 с.

Ya. K. Yelovicheva, V.V. Mahnach. Environment of Geologic Past of the World in the Concept of Modern Stage and Future of Byelorussian Region

The practical use of scientific materials on the studying of the Earth geologic past with reference to the present time and the forecasting validity of the development of components of the environment in the future is shown in the article. Four versions of climate evolution of the region on the basis of palynological data are given.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 23.09.10



УДК 550.461+551.311(476)

В.П. Зерницкая, Н.А. Махнач, Г.И. Симакова

ИЗМЕНЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ОЗЕРАХ – КАРБОНАТО- НАКОПИТЕЛЯХ В СВЯЗИ С АНТРОПОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ЛАНДШАФТЫ ВОДОСБОРОВ

В статье представлены результаты литогеохимического, минералогического и палинологического исследования донных залежей из белорусских озер Сергеевское и Неропля. Установлено, что между этапами изменения особенностей озерного осадка и определенными веками антропогенного воздействия на растительность водосборов имела место временная (и, вероятно, причинно-следственная) связь. Замедление осаждения кальцита и ускорение образования вивианита регистрируются на фоне первых палинологических признаков производящего хозяйства на берегах озер (вторая половина суббореала в разрезе Сергеевское и середина субатлантики 1 в разрезе Неропля). В поздней субатлантике активное образование диагенетического вивианита сменилось формированием сульфидов железа. При этом в озере Неропля благодаря подщелачиванию воды в результате сульфатредукции возобновилось осаждение аутигенного кальцита (в парагенезисе с гидротроилитом). Пикам максимального содержания сульфидов соответствуют максимумы пыльцы *Cerealia*, *Secale*, *Triticum*, *Rumex acetosa/acetosella*. Выявленная последовательность этапов накопления и диагенеза осадков имеет аналоги в ряде европейских залежей и представляется одной из типичных для водоемов, подверженных антропогенно-обусловленному эвтрофированию.

Введение.

На протяжении позднеледниковья–голоцена во многих белорусских озерах неоднократно менялся тип седиментации. Залежам из озер, локализованных среди пород, обогащенных известняковыми и доломитовыми обломками, присуще чередование (снизу вверх) терригенных, карбонатных и органических осадков [1]. «Запрет» карбонатообразования обозначает важную веку в экологическом состоянии озера: вода в нем теряет способность к самоочищению от осаждающихся совместно с кальцитом мелких взвешенных частиц, фосфора, стронция и некоторых тяжелых металлов. В различных озерах осаждение аутигенного кальцита прекращалось в разное время по разным причинам [2]. Одна из них – исчерпание резерва карбонатов в породах водосбора и снижение жесткости поступающей в озеро воды. Однако, по-видимому, главная причина заключалась в эволюционном «старении» озера (переходе от мезотрофной к эвтрофной стадии развития). Известно, что при повышении биопродуктивности озера в нем уменьшается прозрачность воды, ослабевают фотосинтез макрофитов и снижаются темпы удаления растворенного CO_2 . Поэтому вода становится более кислой, что сдвигает термодинамическое состояние системы «вода–кальцит» в сторону растворения минерала. Такому же эффекту способствует ускоренная минерализация обильного в высокопродуктивном озере органического вещества.

Триггерами эвтрофирования могли быть климатические события (увеличение проточности на влажном этапе или потепление). Вместе с тем есть основания думать, что в некоторых озерах, которым природой было предназначено оставаться активными карбонатонакопителями до настоящего времени, осаждение кальцита прекратилось или сильно замедлилось из-за ускоренного антропогенного эвтрофирования, начавшегося в древности. Так, по сведениям А. Дж. Калиса и др. [3], в осадках, накопившихся в озерах Центральной Европы после ~ 6300 кал. л.н., уже прослеживаются литологические признаки воздействия человека на ландшафты водосборов и лимнические системы.



Все нарастаючае (в том числе антропогенно-обусловленное) повышение трофического статуса может изменить и химические и минералогические характеристики преимущественно органических осадков, перекрывающих известковые. Интенсивное потребление кислорода в биологически продуктивном озере способствуют возникновению или усилению сезонной аноксии в придонной воде и осадке. Это обстоятельство, а также поступление с антропогенизированного водосбора дополнительных порций фосфора, серы, железа повышают вероятность формирования ряда диагенетических минералов.

Антропогенную обусловленность прекращения садки кальцита и изменений органической седиментации и диагенеза можно диагностировать, используя независимые (в частности, палинологические) свидетельства преобразования ландшафтов бассейна человеком и ожидать в тех залежах, где граница «карбонаты – органический сапропель» локализована в верхнеголоценовых осадках. Такие залежи были обнаружены в озерах Сергеевское и Неропля и явились объектами настоящего исследования.

Его главные цели: проследить взаимосвязи между веками антропогенного воздействия на ландшафты водосборов и этапами изменения литогеохимических и минералогических особенностей донных отложений; выявить стадийность изменения осадка в условиях быстрого эвтрофирования; оценить возможности литогеохимической и минералогической индикации антропогенно-обусловленных процессов в озерных экосистемах. Подспорьем для достижения поставленных целей явились результаты наших предшествующих исследований осадочных толщ из озер Сергеевское и Неропля [4, 5], хроностратиграфическое расчленение разрезов, регистрация пыльцы растений-антропохоров в верхних частях залежей.

Территория исследования. Озеро Сергеевское (53°30'40" с.ш., 27°45'40" в.д., 166,2 м н.у.м.) находится в Пуховичском районе в 40 км к юго-юго-востоку от Минска в бассейне реки Птичь среди Центрально-Березинской водно-ледниковой равнины, сформировавшейся во время сожской стадии припятского оледенения, имеет плоский водосбор и почти по всему периметру окружено обширными торфяными болотами. Площадь озера 2,75 км², длина 2,2 км, наибольшая ширина 1,6 км, наибольшая глубина 7,5 м. Оно принимает ручей Несвеча длиной 8 км и соединяется четырехкилометровым каналом с рекой Птичь. По данным «Энцыклапедыі прыроды Беларусі» [6], карбонатный сапропель выстилает 83% площади котловины, его запасы оцениваются в 6,1 млн м³, и средняя мощность донных отложений составляет 2,7 м. Скважина была пробурена со льда в 400 м от юго-западного берега при глубине воды 1,2 м.

Озеро Неропля (54°01'с.ш., 29°45'в.д., 165 м н.у.м.) площадью 0,26 км², длиной 650 м, шириной до 520 м расположено на севере Центрально-Березинской равнины в 2 км к северо-востоку от г. Белыничи. Площадь водосбора – 52,4 км². Надводные склоны овальной котловины в основном пологие (высота 10 – 12 м), распаханые, участками покрытые кустарником; на северо-западе – крутые (высотой до 22 м), прорезанные оврагами. Берега высотой до 1 м. Согласно устному сообщению Б.В. Курзо, максимальная глубина озера около 6 м, а максимальная мощность отложений в профундали до 11 м. Через озеро протекает река Неропля (левый приток Друти длина 25 км). Река дренирует крупный торфяной массив Ланьково, находящийся в 3–4 км к северо-востоку от озера и известный выраженными проявлениями вивианитовой минерализации [7]. Это обстоятельство позволяет априори ожидать активное развитие процессов эвтрофирования озера из-за притока растворенного фосфора. Четверть водосбора реки Неропля площадью 200 км² покрыта лесом. Скважина была пробурена со льда в 200 м от южного берега. Глубина воды в точке бурения составляла 2 м.



Полевые и аналитические методы. Керн отложений отбирался озерным буром с диаметром ложки 10 см и длиной 100 см. Интервал непрерывного опробования вертикальной колонки отложений составлял 2–5 см в разрезе Сергеевское и 10 см в разрезе Неропля. Процентное содержание органического вещества (ОВ) в сухой породе определено по потере веса после прокаливания в течение 2 часов при 350°C. Содержания (в весовых процентах) химических макроэлементов в зольном остатке определены А.Б. Комаровым методом рентген-флуоресцентного анализа на установке СРМ-18 и выражены в форме оксидов (концентрации серы представлены как $S_{\text{общ.}}$). В настоящей публикации мы ограничиваемся рассмотрением данных о концентрациях Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 и S. Содержание кальцита в зольном остатке устанавливалось с учетом атомных весов кальция, кислорода и углерода путем умножения доли CaO на 1,78. Отложения отдельных глубинных интервалов изучались в шлифах при помощи поляризационного микроскопа.

Использованные в статье хроностратиграфические модели разрезов, основанные на спорово-пыльцевых диаграммах и десяти радиоуглеродных датировках, подробно аргументировались и обсуждались в работах Н.А. Махнача и др. [4; 5].

Даты калиброваны при помощи компьютерной программы OxCal 3.10 [8]. При их интерпретации принималось во внимание то, что возрастные оценки, полученные по органическому веществу карбонатных осадков, могут быть удревнены вследствие эффекта жесткой воды.

Палинологическая информация, предлагаемая ниже, сводится к показу временной динамики нескольких показателей, наиболее интересных для целей исследования. Это содержания пыльцы вяза (*Ulmus*), дуба (*Quercus*), трав, культурных злаков, не распознаваемых до рода (*Cerealia*), ржи (*Secale*), пшеницы (*Triticum*), а также щавеля обыкновенного / щавеля малого (*Rumex acetosa/acetosella*) – индикатора наличия пастбищ.

Описание и интерпретация результатов. Изменения содержаний ОВ в сухом осадке, кальцита, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , S в зольном остатке и вариации ряда палинологических показателей в вертикальных разрезах двух изученных залежей показаны на рисунке.

Толща, вскрытая в озере Сергеевское, представлена следующими разностями осадков: светло-серым мелко- и среднезернистым слабокарбонатным песком (530 – 525 см); светло-серым, местами почти белым, озерным мелом и мергелем (525 – 95 см); темно-коричневым карбонатным сапропелем (95 – 25 см); черным органическим слабокарбонатным сапропелем (25 – 0 см) [4].

Большая часть толщи накопилась до начала антропогенного влияния на процесс формирования отложений (рисунок, а). В раннем дриасе терригенный тип осадконакопления сменился карбонатным, а в беллинге кальцитообразование заметно активизировалось.

Для отложений среднего дриаса и начала аллереда характерно повышенное содержание ОВ. Граница средний дриас – аллеред подчеркивается пиками ОВ, Fe_2O_3 , P_2O_5 и S. На этом уровне в керне зарегистрированы голубоватые включения окисленного вивианита, а в шлифах скопления фрамбоидов пирита. Перечисленные факты свидетельствуют о том, что в молодом, глубоком, только начинавшем заполняться осадками





озере имелись условия для формирования диагенетических минералов – индикаторов сезонной аноксии в придонной воде или в поверхностном слое отложений.

Осадки *позднего дриаса* значительно обогащены обломочной компонентой.

Примечательной особенностью позднеледниковых карбонатных отложений (беллинг – поздний дриас) является относительно высокое содержание в них серы. При этом широкому пику S (на глубине 340 – 480 см) соответствует невысокое содержание Fe_2O_3 и P_2O_5 и концентрация ОВ, не большая чем в перекрывающих менее серных нижнеголоценовых осадках. Можно полагать, что такая геохимическая специфика генетически связана с наличием на водосборной территории вечной мерзлоты. В ее деятельном слое был активен глеевый процесс, и в водоем разгружались почвенные, грунтовые, межмерзлотные воды, характеризующиеся пониженными величинами Eh. Поэтому в осадке происходила сульфатредукция и формировалась рассеянная сульфидная минерализация.

В *пребореале* резко сократилась доля обломочной фракции, а содержание карбонатов в зольном остатке достигло значений около 90%, присущих также осадкам бореала и атлантики.

В *бореальной* части разреза отмечаются колебания относительных долей ОВ и карбонатов при низком и почти неизменном содержании обломочной фракции. Пик Fe_2O_3 на глубине 250 – 270 см, синхронный пику ОВ и не сопровождающийся пиками P_2O_5 и S, может отражать присутствие аутигенного сидерита в осадках относительно глубоководной фации, накопившихся в течение кратковременного влажного климатического эпизода.

На протяжении *атлантического периода* постепенно увеличивалась доля ОВ (рост трофического статуса) при малой и неизменной концентрации терригенной примеси в минеральной составляющей. В середине атлантической части залежи на фоне сильного узкого пика ОВ наблюдаются пики фосфора и серы, которые могут объясняться вхождением элементов в ОВ, содержания которого аномально высоки на глубине 160–175 см. Также не исключается присутствие незначительной совместной рассеянной вивианитовой и сульфидной минерализации.

Начало трендов особенно резкого увеличения доли ОВ, уменьшения карбонатности, роста содержаний Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 и S отмечено на глубине 110 см в отложениях самого конца атлантического периода. Названное событие можно связывать со значительными естественными изменениями природной обстановки. На этом уровне отмечается явный спад в содержании пыльцы вяза (рисунок, а), а также, как показано в [4], сильный рост содержания пыльцы ели и появление пыльцы бука. Таким образом, существенное изменение в особенностях седиментации обозначилось несколько раньше появления пыльцевых признаков освоения водосбора неолитическим населением.

Резкое падение (от 6,5% до 2,5%) содержания пыльцы дуба (*Quercus*), которое можно гипотетически связывать с предпочтительной вырубкой этой ценной древесной породы, регистрируется на глубине 85 – 70 см. Здесь же были отмечены первые сигнальные зерна Cannabaceae (семейство коноплевых) [4]. Именно в это время начинается резкий рост содержания P_2O_5 .

Максимум концентрации фосфора (3,3% P_2O_5 в зольном остатке) зафиксирован на глубине 50 – 55 см. Он соответствует пику Fe_2O_3 и не сопровождается пиками S и ОВ. В интервале глубин 80 – 50 см содержание ОВ растет от 50% до 70% (в 1,4 раза), а содержание P_2O_5 от 0,6% до 3,3% (в 5,5 раза), что доказывает принадлежность значительной части фосфора минеральной (вивианитовой), а не органической фазе.



Формирование вивианитовой минерализации (т.е. способности лимнической системы к долговременному депонированию фосфора) с позиций современных представлений [9] объясняется следующим образом. При смене летних или зимних восстановительных условий в гиполимнионе окислительными (во время осеннего или весеннего перемешивания) совместно с гидроксидами железа (III) на дне накапливается фосфор (входящий в их структуру либо сорбированный на их поверхности). При следующей стагнации, когда Eh в гиполимнионе понижается, железо и фосфор переходят в наддонную воду в результате растворения гидроксидов. Полная циклическая миграция двух элементов из воды в осадок и обратно осуществляется скорее в модельных, чем в природных условиях. В действительности гидроксиды железа, обогащенные фосфором, погребаются под свежееосадившимся материалом, их растворение после установления стратификации (при низких Eh в гиполимнионе) происходит уже в толще осадка, и высвобождение продуктов растворения из порового раствора в озерную воду происходит медленно, путем диффузии, и не успевает реализоваться полностью. В поровых водах концентрации железа и фосфора могут достигать величин, превышающих произведение растворимости вивианита, т.е. обеспечивать его образование. При избытке Fe^{2+} в растворе в щелочных условиях совместно с вивианитом может образовываться сидерит $FeCO_3$ либо минеральная фаза $(Ca_x, Fe_{1-x})CO_3$.

На фоне максимального пика фосфора наблюдается ряд палинологических событий: некоторое повышение доли пыльцы трав, падение содержания *Ulmus* с 3% до 0,5%, спад *Quercus* с 6,5% до 2,5 – 4%, начало постоянного присутствия *Rumex acetosa/acetosella*, появление *Cerealia*, *Triticum*, *Secale*.

На глубине 30 см начинается тренд резкого увеличения содержания серы. Максимум ее концентрации (2,2%) приходится на глубину 10 см, причем в интервале глубин 30 – 10 см доля ОВ растёт с 65 – 70% до 78% (в 1,1 – 1,2 раза), а содержание серы с 0,8% до 2,2% (в 2,8 раза). Это указывает на присутствие не только органической, но и минеральной формы серы.

Увеличение доли серы происходит параллельно с падением содержаний фосфора и железа и ростом относительного количества обломочной компоненты (Al_2O_3). Пик S совпадает с максимумами содержаний пыльцы трав, *Cerealia*, *Secale*, *Triticum*. Он связан с развитием аутигенного сульфида (вероятно, моносульфида) железа вместо вивианита из-за падения Eh до величин, при которых возможна сульфатредукция. При этом вивианит и сидерит становятся неустойчивыми, фосфор и частично железо начинают при стагнациях активно выводиться в наддонную воду, обуславливая дальнейшее ускоренное эвтрофирование водоема.

Последовательность событий седиментогенеза и диагенетического изменения осадка, принципиально подобная выявленной в залежи озера Сергеевского, наблюдается и в толще из озера Неропля (рисунок, б).

В скважине, пробуренной в ней, вскрыты следующие разности отложений [5]: зеленовато-серый мелкозернистый песок (980 – 950 см); голубовато-серая глина (950 – 850 см); зеленовато-серый тонко- и мелкозернистый песок (850 – 840 см); зеленовато-светло-серый карбонатный сапропель (840 – 390 см); коричневый органический сапропель с незначительной долей аутигенного кальцита (390 – 220 см); черный глинистый ил (220 – 50 см), обогащенный карбонатами в интервале глубин 170 – 50 см. Верхняя часть залежи (50 – 0 см) представлена полужидким пелогеном, возраст которого исчисляется, вероятно, несколькими последними десятилетиями. На рисунке (б) представле-



на информация по верхней части залежи (840 см), образовавшейся после длительного перерыва осадконакопления.

На протяжении *атлантического периода* и большей части *суббореала* карбонатность зольной части отложений плавно увеличивалась от 65% до 90%. Несмотря на минимальные для разреза и неизменные содержания P_2O_5 в атлантических и нижнесуббореальных отложениях (в интервале глубин 480–840 см) в них имелась примесь вивианита (голубые включения в керне), что свидетельствует о значительном содержании фосфора в водах, поступающих в озеро, и о циклической смене окислительных и восстановительных обстановок у дна. По-видимому, источник растворенного фосфора, питающий вивианитовую минерализацию как современного торфяного массива Ланьково, так и отложений озера Неропля в течение всей его жизни существовал уже в среднем голоцене (возможно, ранее).

Постепенный переход от осадков, содержащих в золе 90% кальцита, к осадкам, содержащим 60% кальцита, наблюдается в пределах слоя суббореала 2+3 (глубина 480 – 390 см). Параллельно увеличиваются концентрации остальных анализируемых компонентов химического состава. Тренд Al_2O_3 отражает рост относительного содержания песка и глины в золе, а рост концентраций Fe_2O_3 , P_2O_5 и S сопутствует увеличению доли ОВ. Весьма высокое содержание фосфора (до 5% P_2O_5) вверху описываемого интервала свидетельствует о начале активного накопления вивианита.

В качестве причины, обусловившей описанные явления, можно предполагать изменение климатических условий. В полной пыльцевой диаграмме из [5] на глубине 520 – 530 см отмечен резкий подъем кривых *Picea* (ели) и *Alnus* (ольхи). Как видно из рисунка (позиция б), начало замедления карбонатообразования в суббореале 2+3 совпадает также с заметным уменьшением роли вяза (*Ulmus*) и дуба (*Quercus*) в составе растительности, что может объясняться как климатическими причинами, так и (с меньшей вероятностью) антропогенным воздействием.

Резкое снижение содержания кальцита (с 60% до 30%), повышение доли ОВ (с 30% до 65%), Fe_2O_3 (с 12% до 35%) произошло параллельно с незначительным (от 2% до 6%), возможно, антропогенно-обусловленным ростом содержания пыльцы трав (на глубине 390 – 370 см).

Следующее изменение в особенностях осадков фиксируется в интервале глубин 330–280 см, на котором доля кальцита снизилась с 30 – 42% до 15% и в пределах которого отмечаются максимальные концентрации фосфора (до 8,6% P_2O_5) и, следовательно, вивианита. Конец описанного скачка в изменении минерального состава отложений синхронен с резким подъемом кривой трав, появлением первых зерен *Cerealia*, пшеницы (*Triticum*) и началом рациональных кривых *Rumex acetosa/acetosella* и ржи (*Secale*). Названные бесспорные признаки земледелия датируются возрастом примерно 2 350–2 370 кал. л.н.

На глубине 190 см, где содержание пыльцы трав возрастает до 20%, концентрация Fe_2O_3 достигает максимума (более 50%) при концентрации P_2O_5 до 7%.

На глубине 160–150 см прослеживается еще одно изменение особенностей осадка: резко понижается содержание Fe_2O_3 и P_2O_5 и возрастает содержание ОВ, S (до 1,5%) и кальцита. Это событие произошло на границе субатлантики 2 и 3 несколько ранее 1 000 л.н. почти одновременно с началом непрерывного культивирования пшеницы (*Triticum*), заметным очередным сокращением роли дуба (*Quercus*) и максимальным распространением трав в составе растительности. По-видимому, в это время в результате антропогенного воздействия на ландшафты водосбора скорость аккумуляции



озерных осадков резко возросла, причем в них более значительную роль стали играть ОВ и глина. Это обусловило понижение величины Eh порового раствора до такой степени, при которой вивианит стал нестабильным, получила развитие сульфатредукция, и начал образовываться гидротроилит. Именно минеральная природа серной аномалии диагностируется на основании нескольких косвенных указаний: в интервале глубин 190 – 120 см содержание ОВ возрастает с 58% до 82% (в 1,4 раза), а серы – с 0,6% до 1,5% (в 2,5 раза); свежий осадок имеет абсолютно черный цвет, а в сухом виде представляет собой скопление мелких, выдержанных по размеру (0,3–1,0 мк) «икринок», различных при помощи сканирующего электронного микроскопа [5].

В парагенетической ассоциации с сульфидами железа в результате подщелачивания порового раствора при сульфатредукции образовывался диагенетический кальцит.

Описанные изменения в процессе минералообразования вызвали «внутреннее» загрязнение водной массы железом и фосфором, которые стали слабее удерживаться в осадке, выводиться из него в воду при летних и/или зимних стагнациях и провоцировали дальнейшее эвтрофирование озера.

Последовательность изменения особенностей накопления и диагенеза осадков, установленная в разрезах Сергеевское и Неропля, по-видимому, является типичной для озер, подверженных антропогенному эвтрофированию, поскольку имеет аналоги в ряде европейских залежей. Так, в лесном озере Гостенж (52°35' с.ш., 19°21' в.д., долина Вислы, Польша) в ответ на вырубку лиственных лесов на водосборе (1770–1860-е годы) резко упала скорость кальцитообразования. В начале 1870-х годов по мере нарастающего сельскохозяйственного освоения окрестностей в осадках стал регулярно аккумуляроваться вивианит, а через 10–15 лет на фоне максимальной скорости осаждения ОВ появились сульфиды железа [10]. В осадках шведского, ныне гиперэвтрофного, озера Бусьесьен [11] вивианит был основным диагенетическим минералом на доиндустриальном этапе, а с начала века в них стали активно формироваться сульфиды железа и в ответ на повышение щелочности – кальцит. При этом вследствие усилившейся придонной аноксии фосфор начал высвобождаться из осадка в воду. В швейцарском озере Бальдегерзее, расположенном близ Люцерна, в высококарбонатных отложениях олиготрофной стадии (до 1885 г.) железо содержалось в основном в минерале $(Ca_x, Fe_{1-x})CO_3$, а в осадках гиперэвтрофной фазы – в форме сульфидов [12].

Выводы

1. Озера Сергеевское и Неропля незадолго до начала зарегистрированного по палинологическим признакам освоения их водосборов человеком находились на стадии постепенного естественного эвтрофирования, вызывавшего замедление темпов карбонатообразования, ускорение органической седиментации и активизацию формирования диагенетического вивианита. Это предопределило ранимость озерных экологических систем по отношению к наступившему вскоре антропогенному нарушению окрестных ландшафтов и быстрое прохождение стадий дальнейшего изменения процессов накопления и диагенеза отложений.

2. Между этапами изменения особенностей озерного осадка и определенными веками антропогенного воздействия на растительность и ландшафт водосборов, распознанными в пыльцевых спектрах, имела место временная (и, вероятно, причинно-следственная) связь. Резкие сдвиги карбонатности отложений в сторону ее уменьшения и ускорение образования вивианита регистрируются на фоне первых признаков расчистки лесов и производящего хозяйства на берегах озер (вторая половина суббореала



в разрезе Сергеевское и середина субатлантики 1 в разрезе Неропля). В отложениях примерно тысячелетнего (позднесубатлантического) возраста синхронно с пиками максимальных содержаний пыльцы трав, щавеля, злаков группы Cerealia, пшеницы, ржи и палинологическими признаками вырубки деревьев ценных пород (вяза и дуба) отмечаются пики сульфидов железа и снижение содержания вивианита. Все более выраженный кислородный дефицит, формирующийся в придонной воде и/или осадке при стагнациях, обусловил развитие сульфатредукции и образование гидротроилита (возможно, пирита). При этом сидерит и вивианит стали в осадке неустойчивыми, что вызвало «внутреннее» загрязнение воды железом и фосфором. В озере Неропля подщелачивание поровых растворов в результате сульфатредукции привело к возобновлению формирования аутигенного кальцита.

3. Последовательность этапов накопления и диагенеза осадков, выявленная в донных отложениях двух белорусских озер, имеет аналоги в ряде европейских залежей и представляется одной из типичных для водоемов, подверженных антропогенному воздействию и вызванному им прогрессирующему эвтрофированию.

4. Исследование динамики содержания аутигенных минералов (кальцита, вивианита, сульфидов железа) в вертикальном разрезе озерных осадков дает ключ к реконструкции изменений трофического статуса, придонного кислородного режима, интенсивности погребения в осадке и эмиграции из осадка в воду химических элементов-эвтрофикаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуховицкая, А.Л. Геохимия озер Белоруссии / А.Л. Жуховицкая, В.А. Генералова. – Минск : Наука і тэхніка, 1991. – 203 с.
2. Якушко, О.Ф. Белорусское Поозерье. История развития и современное состояние озер Северной Белоруссии / О.Ф. Якушко. – Минск : Вышэйшая школа, 1971. – 336 с.
3. Kalis, A.J. Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe – human impact and natural causes / A.J. Kalis, J. Merkt, J. Wunderlich // Quaternary Science Reviews. – 2003. – № 22. – P. 33–79.
4. Махнач, Н.А. Стабильные изотопы углерода и кислорода и спорово-пыльцевые спектры в позднеледниково-голоценовых карбонатных осадках озера Сергеевского, Беларусь / Н.А. Махнач, В.П. Зерницкая, И.Л. Колосов // Літасфера. – 2009. – Т. 30. – № 1. – С. 103–114.
5. Махнач, Н.А. Изменения особенностей накопления и диагенеза донных осадков в озере Неропля / Н.А. Махнач [и др.] // Природные ресурсы. – 2009. – № 2. – С. 77–88.
6. Энциклапедыя прыроды Беларусі : у 5 т. – Минск : Беларус. Сав. Энцикл. – Т. 5. – 1986. – 583 с.
7. Ковалев, В.А. Болотные минералого-геохимические системы / В.А. Ковалев. – Минск : Наука и техника, 1985. – 327 с.
8. Bronk Ramsey, C. Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program / C. Bronk Ramsey // Radiocarbon. – 1995. – V. 37. – P. 425–430.
9. Gächter, R. Why the phosphorus retention of lakes does not necessarily depend on the oxygen supply to their sediment surface / R. Gächter, B. Müller // Limnol. Oceanogr. – 2003. – V. 48. № 2. – P. 929–933.



10. Goslar, T. Anthropogenic changes in the sediment composition of Lake Gościąż (central Poland), during the last 330 yrs / T. Goslar [et al.] // Journal of Paleolimnology. – 1999. – V. 22. – P. 171–185.
11. Olsson, S. Sediment-chemistry response to land-use change and pollutant loading in a hypertrophic lake, southern Sweden / S. Olsson [et al.] // Journal of Paleolimnology. – 1997. – V. 17. – № 3. – P. 275–294.
12. Spadini, L. Analysis of the Major Fe Bearing Mineral Phases in Recent Lake Sediments by EXAFS Spectroscopy / L. Spadini [et al.] // Aquatic Geochemistry. – 2003. № 9. – P. 1–17.

V.P. Zernitskaya, N.A. Makhnach, G.I. Simakova. Changes of Peculiarities of Bottom Deposits Forming in the Carbonate-Accumulating Lakes in Connection with Anthropogenic Impact on the Landscapes of the Drainage Basins

The results of lithochemical, mineralogical and palynological studies of bottom deposits from Belarusian lakes Sergeevskoe and Neroplia are presented in the paper. It is stated that certain stages of sediments feature changes were temporally (and, probably, causally) connected with the milestones of anthropogenic impact on vegetation in the drainage areas. Decrease of calcite precipitation rates and acceleration of vivianite forming are registered against the background of the early palynological evidence of productive economy in the lake vicinities (the second half of the Subboreal in the profile Sergeevskoe and the middle of the Subatlantic 1 in the profile Neroplia). In the Late Subatlantic, diagenetic vivianite gave way to iron sulfides. At this time authigenic calcite accumulation renewed (in paragenesis with hydrotroilite) in the lake Neroplia due to increasing water alkalinity, which was a result of sulfate reduction. Peaks of the maximum contents of sulfides are consistent with the maxima of *Cerealia*, *Secale*, *Triticum*, *Rumex acetosa/acetosella* pollen. The described succession of sedimentation and diagenesis stages has analogies in a number of European deposits and seems to be typical for lakes exposed to anthropogenic eutrophication.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 07.10.10



УДК 550.42:551.89

Н.А. Махнач

НАКОПЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ И ГОЛОЦЕНОВЫХ АУТИГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

Установлено, что содержания некоторых химических элементов в аутигенных минеральных образованиях могут существенно превышать кларки для четвертичных отложений в целом. Типичная ассоциация микроэлементов мономинеральных кальцитовых скоплений (озерных, источниковых, педогенных, техногенных) представлена стронцием, барием, медью, никелем. Примесь диагенетического вивианита к озерному кальциту вызывает обогащение карбонатных залежей фосфором, цинком, барием, никелем, медью. Рассеянная сульфидная минерализация в известковых осадках прослеживается по повышенной доле серы (до 2%) и железа. В генетически различных скоплениях оксидов железа и марганца (педогенных рыхлых конкрециях и твердых ортштейнах, аллювиально-болотных рудах, сцементированных горизонтах из подпочвенной части терригенных отложений, озерных диагенетических конкрециях и корках) способны накапливаться большие количества марганца, фосфора, бария, цинка, меди, кобальта, никеля, хрома, свинца и ванадия. Сходные по минеральному составу аутигенные тела могут являться продуктами различных геохимических барьеров. Это во многом определяет различия в тенденциях и масштабах накопления элементов в аутигенных фазах.

Введение. Четвертичные отложения области материковых плейстоценовых оледенений содержат определенный набор аутигенных минералов, локализованных в почвах, подпочвенной части моренных, водно-ледниковых, аллювиальных, эоловых (лессовидных) и др. толщ, в озерных и болотных залежах. Этот набор включает карбонаты (кальцит, сидерит, родохрозит), фосфаты (вивианит и его окисленные разновидности, апатит), моно- и дисульфиды железа (троилит, пирит, марказит), оксиды железа (ферригидрит, гетит, гематит, лепидокрокит, ферроферригидрит, маггемит, магнетит), оксиды марганца (псиломелан, вад, вернадит, пиролюзит, манганит и др.), оксиды титана, сульфат кальция (гипс), силикаты (опал, кварц), алюмосиликаты (каолинит, гидрослюда, вермикулит, почвенный хлорит, монтмориллонит, аллофан).

В различных аутигенных минералах депонируются элементы-эвтрофикаторы и контаминанты природных вод (фосфор, сера, железо, марганец), компоненты парниковых газов (в частности, углерод), токсичные микроэлементы. В связи с этим минералообразование имеет особую экологическую роль. С одной стороны, в аутигенных фазах сосредоточиваются вредные элементы, что способствует очищению от них почвы и воды. С другой стороны, аутигенные минералы устойчивы только в обстановке своего образования и при естественном или техногенном изменении рН-Еh условий накопленные химические элементы могут выводиться в раствор и загрязнять гидросферу.

На фоне обилия данных о химическом составе различных генетических типов четвертичных отложений Беларуси [1–5] геохимическая специфика вторичных фаз (особенно в части микроэлементов) остается малоизученной.

Точная оценка химического состава конкретных аутигенных минералов без применения наноаналитических методов является непростой задачей. Как правило, аутигенный компонент в залежах, линзах, конкрециях, ризокрециях, литифицированных горизонтах и участках находится в смеси с аллотигенной обломочной матрицей (иногда в виде рассеянных микроскопических частиц), а собственно аутигенная составляющая часто представлена парагенезом нескольких минералов. Легче оценить тенденции и масштабы аккумуляции химических элементов в типичных аутигенных (обычно по-



лиминеральных) телах, что и является целью настоящей работы. Исследованные скопления типизованы по доминирующему минералу (или минералам) и, более подробно, по наличию подчиненной минеральной примеси, особенностям морфологии, локализации, механизма формирования, по принадлежности к определенной стадии литогенеза. Данные о природных телах дополняются сведениями о минеральных образованиях техногенного происхождения (или развитых на техногенном субстрате), а также полученных экспериментальным путем.

Фактический материал и методика исследования. Большая часть охарактеризованных образцов аутигенных тел собрана автором в ходе полевых экспедиций и экскурсий на территориях Беларуси и Польши.

Доля органического вещества (ОВ) главным образом в озерных и источниковых аккумуляциях определена по потере веса сухой породой после прокаливании в течение 2 часов при 350°C.

Минералы диагностировались рентген-дифрактометрическим методом на установке ДРОН-3 (аналитик Л.П. Евстратенко) и путем изучения шлифов.

Содержание химических элементов определялось А.Б. Комаровым и Е.М. Савицкой методом рентген-флуоресцентного анализа на установке СРМ-18 (макроэлементы) и спектральным методом И.Н. Тетеревой, Б.Е. Островской и С.Л. Трошиной на анализаторе АИ-1024 (микроэлементы).

Содержания макроэлементов выражались (за исключением серы и хлора) в форме оксидов в весовых процентах от зольного остатка, а микроэлементов – в мг/кг. Концентрации натрия и хлора (обычно весьма малые и варьирующие без видимой закономерности) не обсуждаются. Также не интерпретируются колебания содержания циркония, отражающие изменчивость доли обломочной фракции в минеральных образованиях.

Помимо авторских данных анализируются литературные сведения о химическом составе аутигенных образований из Беларуси, Польши, Англии, Дании, Швеции, Канады. Концентрации компонентов, приводимые в использованных источниках, пересчитаны в формы оксидов (макроэлементы) и в элементную форму (сера, микроэлементы).

Описание и интерпретация результатов. Химический состав скоплений аутигенных минералов приведен в серии таблиц. В каждой из них в левой колонке даны средние содержания (весовые проценты) макроэлементов в четвертичных отложениях Беларуси в форме оксидов (ССЧО) [6] и кларки микроэлементов [7], т.е., по сути, типичные концентрации для терригенной части породы. Прочерк в таблицах означает, что содержание элемента не определялось, а цифра 0, что концентрация элемента не достигает предела обнаружения.

Кальцитовые скопления. В рассматриваемой группе, включающей преимущественно кальцитовые тела без видимой второстепенной минерализации и с пренебрежительно малой долей обломочного материала, выделяется несколько разновидностей. Одна из них – это залежи источникового и озерного мела, осаждение которого вызвано удалением CO₂ из озерной воды в результате фотосинтетической деятельности макрофитов, водорослей, планктона и, как следствие, повышением рН. На отдельных глубинных интервалах таких залежей удалось выявить практически чистые от обломочной примеси кальциты.

Из образований педогенного генезиса морфологической разновидностью, почти не содержащей обломочной примеси, является выполнение пустот, образовавшихся после разложения крупных древесных корней (внутреннее выполнение ризокреций).



Формирование кальцита в таких полостях связано с сезонными и суточными флуктуациями содержания углекислого газа в процессе корневого дыхания и в какой-то мере с испарением раствора. Иногда лишеными кластогенной примеси бывают кутаны (микросталактитовые цементы на нижней поверхности гальки), формирующиеся в результате испарения воды.

Специфическую группу чистых кальцитов представляют эфемерные сталактиты белого, светло-серого, желтовато-серого цвета длиной 2–15 см и толщиной (в верхней части) 0,2–2,0 см, широко распространенные в техногенном ландшафте на нижних поверхностях бетонных мостов и карнизов. Характеристика таких образований основана на результатах исследования 120 проб, взятых в пределах Минска, а также на автомобильных мостах, пересекающих 13 белорусских рек [8]. Еще одним вариантом кальцитов на искусственных сооружениях являются выполнения полостей растворения строительного цемента. В техногенных ландшафтах кальцит образуется в результате реакции карбонатизации бетона [9], которая имеет следующий вид: $\text{портландит } \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Вследствие выщелачивания атмосферной водой портландита происходит быстрое и сильное повышение pH (до 12) и немедленное выпадение кальцитовой фазы.

В группе чистых кальцитов рассматривается также накипь, образование которой происходит на совмещенном испарительно-термическом геохимическом барьере, а также кальцитовый продукт криогенного барьера, искусственно осажденный из воды путем ее многократного замораживания (сопровождающегося повышением минерализации остаточного раствора и перенасыщением его относительно кальцита) и растопления льда.

О чистоте рассматриваемых образований от обломочной компоненты можно судить по незначительному количеству *кремния, алюминия, титана, калия* (таблица 1). Этих элементов особенно мало в озерных и источниковых осадках (столбцы 1–8). В почвенных кальцитах и в продуктах карбонатизации строительного цемента имеется малая обломочная примесь. В кальцитовой накипи (продукте испарительного барьера), где SiO_2 содержится в количестве 3,81%, можно ожидать присутствие малой примеси аутигенного аморфного кремнезема или кварца. Содержание *магния* указывают на принадлежность кальцита к низкомагнезиальной разновидности. Колебания концентрации элемента в озерных и источниковых залежах связаны с различной долей доломита в карбонатах водосбора. В накипи содержание магния повышенное (5,93% MgO), что обусловлено эвапоритовым генезисом кальцита. Содержание *железа* существенно ниже ССЧО, а *марганца* колеблются вокруг ССЧО и лишь в кальцитовой инкрустации из заболоченной (и, следовательно, характеризующейся пониженным Eh) источниковой залежи составляет 4,6 ССЧО (столбец 7). Содержание *фосфора*, как правило, не превышают ССЧО более чем вдвое и только в педогенной ризокреции (столбец 9) составляет 4,3 ССЧО. Из этого следует, что в почвенной обстановке реализуется едва заметное окклюдирование фосфора в кальците. Содержание *серы* во всех объектах выше ССЧО. Ее минеральные формы могут быть различными: в озерных и источниковых залежах возможно присутствие не регистрируемых моно- и дисульфидов; в кальцитах, сформировавшихся на испарительном барьере, может быть примесь сульфата. Содержания *бария* всегда (за исключением травертинов гряды Чернышева, Республика Коми, столбец 8)





выше кларковых в 1,9–4,3 раза, а в сталактитах на бетонных сооружениях – в 7,0–9,3 раза. *Кобальт* встречается в единичных объектах, а *хром* (в количестве ниже кларка) несколько чаще. То, что наличие хрома в растворе приводит к формированию хромсодержащего кальцита, иллюстрируется следующим наблюдением. В эфемерных сталактитах он встречен в половине проб (в среднем 5 мг/кг), причем почти исключительно на территории Минска. Отличительной особенностью распределения *меди* является ее постоянное присутствие в количестве ниже кларкового и весьма малое варьирование содержания в природных кальцитах. Свидетельством того, что элемент может накапливаться в кальците в количествах, превышающих кларковые (30–45 мг/кг), являются данные по продуктам карбонатизации бетона (столбцы 11–13) и по техногенным и полученным в эксперименте кальцитам, выпавшим из воды, контактировавшей с металлическими трубами (30–65 мг/кг, столбцы 14, 15). *Никель* является практически постоянным компонентом озерных и источниковых кальцитов (в количестве ниже или около кларка), а также встречен в искусственно осажденном кальците (столбец 15). Небольшие концентрации спорадически встречающегося в природных образованиях *свинца* могут объясняться его вхождением в обломочную примесь. Однако то обстоятельство, что он постоянно встречается в эфемерных сталактитах (в пределах Минска – в количестве до 210 мг/кг) [8], говорит о том, что свинцовое загрязнение раствора можно фиксировать, изучая аутигенный кальцит. Количество *стронция*, неперменного компонента кальцитов, обычно составляет от 1,8 до 9,1 кларка. По содержанию элемента резко выделяются сталактиты (в среднем 40,9 кларка и до 89 кларков). Таким образом, стронций (возможно, в составе стронцианита), так же как и барий, активно депонируется в продуктах сильного щелочного барьера и в меньшей степени на испарительном барьере (карбонатная кутана, столбец 10). *Ванадий* встречается не всегда (вероятно, как составляющая обломочной примеси). *Цинк* обнаружен в травертинах гряды Чернышева (столбец 8), и в значительном количестве в продукте изменения строительного цемента (столбец 13), и в искусственных кальцитах, выпавших из растворов, метаморфизованных при контакте с металлическими трубами (столбцы 14, 15).

Преимущественно карбонатные озерные и источниковые отложения с второстепенной диагенетической (сульфидной и фосфатной) минерализацией. Аналитические данные (таблица 2) получены в результате изучения ряда слоев нескольких озерных и источниковых залежей (в том числе тех, которые упоминались в предыдущем разделе). Присутствие диагенетических минералов фиксируется при визуальном осмотре керна (голубовато-зеленые линзочки, слойки, включения окисленного вивианита) и в шлифах (агрегаты фрамбоидов пирита).

Как можно судить по содержаниям *калия*, *титана*, *алюминия*, *кремния*, в таблице 2 представлены данные как по образованиям с малой долей аллотигенной части (столбцы 1, 2), так и по существенно контаминированным ею (до 41% SiO₂). Наиболее значительные концентрации *фосфора* (столбец 5) и *серы* (столбец 3) приурочены к осадкам с большой долей аллохтонной части и ОВ, обеспечивающих восстановительные условия, необходимые для формирования сульфидной и фосфатной минерализации. *Магний* присутствует в количестве, свойственном чистым кальцитам. Его минимальные доли в залежи озера Сергеевское (столбцы 3, 4), по-видимому, являются следствием малого содержания обломочного доломита в породах водосбора. При особенно больших концентрациях фосфора (23,6 ССЧО, столбец 4; 51,9 ССЧО, столбец 5) или серы (67,7 ССЧО, столбец 3) соотношение Fe₂O₃/MnO особенно велико. Это означает, что при активной аккумуляции сульфидов и вивианита в диагенезе *марганец* выводится



из осадка в воду и загрязняет ее. В погребенной залежи Птичь (столбец 2) наблюдается относительно большая величина соотношения Fe_2O_3/MnO (2,57). Содержания меди, никеля, ванадия, стронция и бария находятся на уровне, присущем чистым карбонатным осадкам (за исключением залежи озера Неропля). Сходство с чистым кальцитом прослеживается также в отсутствии свинца, цинка, хрома и в спорадической встречаемости кобальта. Максимальные концентрации бария, никеля, меди, цинка и наличие свинца отмечены в наиболее обогащенном вивианитом осадке озера Неропля (столбец 5), что подтверждает известную из литературы способность вивианита водоемов служить долговременным стоком для этих элементов [11].

Таблица 2 – Химический состав карбонатных озерных и источниковых отложений с второстепенной диагенетической минерализацией.

Компонент	1	2	3	4	5
ОВ, %	20,3	10,2	71,6	64,4	49,9
K_2O (2,20)	0,11	0,10	1,31	0,51	0,34
MgO (1,40)	1,74	2,16	0,71	0,58	2,28
CaO (2,60)	52,8	52,8	12,5	26,0	19,9
TiO_2 (0,36)	0,028	0,02	0,35	0,13	0,16
MnO (0,05)	0,27	1,08	0,23	0,21	0,59
Fe_2O_3 (4,70)	4,03	2,78	20,1	19,7	31,3
Al_2O_3 (10,9)	0,38	0,73	5,62	2,20	1,54
SiO_2 (72,5)	2,20	1,47	41,9	23,1	21,9
P_2O_5 (0,12)	0,17	0,25	1,00	2,83	6,23
S (0,03)	0,85	0,86	2,03	0,84	0,67
Ba (107)	288	302	–	–	666
Co (7,8)	0	3,8	–	–	10
Cr (34,2)	0	0	–	–	0
Cu (16,2)	4,3	12,3	–	–	32,7
Ni (11,9)	7,5	19	–	–	27,9
Pb (14,9)	0	0	–	–	7,6
Sr (110)	200	244	–	–	0
V (29)	3,5	5,1	–	–	8,6
Zn (36,6)	0	0	–	–	359

Примечание – 1 – залежь из оз. Оконо ($54^{\circ}50'$ с.ш., $28^{\circ}32'$ в.д.), примесь рассеянного фрамбоидального пирита, осадки конца пребореала – начала бореала, n = 4; 2 – погребенная залежь Птичь ($53^{\circ}48'$ с.ш., $27^{\circ}25'$ в.д.), примесь сульфидов железа, осадки пребореала и бореала, n = 9; 3 – залежь из оз. Сергеевское ($53^{\circ}30'40''$ с.ш., $27^{\circ}45'40''$ в.д.), примесь моносльфидов железа и в меньшей степени вивианита, поверхностный слой в 20 см, n = 3; 4 – залежь из оз. Сергеевское ($53^{\circ}30'40''$ с.ш., $27^{\circ}45'40''$ в.д.), примесь вивианита, осадки суббореала, n = 5; 5 – залежь из оз. Неропля ($54^{\circ}01'$ с.ш., $29^{\circ}45'$ в.д.), примесь вивианита, голоценовые осадки, n = 18

Скопления аутигенных оксидов железа и марганца в автономных и гидроморфных почвах. В рассматриваемой группе выделяется несколько морфологических и генетических разновидностей. Рыхлые педогенные железо-марганцевые конкреции анализируются на примере черных, особенно крупных (диаметром до 1,5 см) образований из двух польских пунктов (материалы автора) и по литературным данным. Также рассматривается редкая разновидность педогенной гетитовой минерализации – удлиненные пальцеобразные, иногда эллипсоидальные, плотно сцементированные, с массивным внутренним строением стяжения бурого цвета (длиной до 20 см и диаметром до 4 см),



с поверхности покрытые слоем порошковидной охры. Они обнаружены в нижней части выщелоченного от карбонатов субпрофиля на глубине 110–115 см в почве, развитой на мелкоземистой сожской морене у г.п. Красносельский Волковысского района. Генезис таких конкреций нельзя считать установленным. Не исключено, что они являются результатом замещения крупных карбонатных ризокреций и эллипсоидальных конкреций.

Среди продуктов гидроморфных почв исследованы типичные аллювиально-болотные руды из двух белорусских местонахождений – кавернозные плиты, локализованные в пойменных отложениях на межennom уровне реки в непосредственной близости от приречных болот.

Специфическим вариантом твердой болотной руды, связанным с осаждением оксидов на щелочном геохимическом барьере, является рудный слой мощностью 5–10 см, перекрывающий залежь озерного мела и залегающий под покровом торфа мощностью 40 см (близ д. Мошеное Дзержинского района).

Еще одна разновидность скоплений оксидов в гидроморфной почве (оглиненном торфянике) – это покров вишнево-красной охры (гетит и гематит), встреченный на осушенном массиве Синюха. Формирование красных охр обычно связывают с ураганым окислением при торфяных пожарах [12].

Аутигенная часть различных разновидностей характеризуется определенной спецификой накопления макро- и микроэлементов (таблица 3). Существенны вариации содержания *железа* и *марганца* и соотношения Fe_2O_3/MnO . В педогенных рыхлых конкрециях (столбцы 1–4) может относительно преобладать либо железо, либо марганец, по-видимому, в зависимости от степени гидроморфизма почвы и контрастности сезонных вариаций Eh. Так, известно, что в конкрециях из глинистых почв концентрация железа положительно коррелирует с количеством атмосферных осадков, а содержание марганца – отрицательно [13]. Твердые конкреции или ортштейны (столбец 5), рудный слой на контакте «торф–озерный мел» (столбец 12) и вишнево-красная охра (столбец 13) бедны марганцем. Аллювиально-болотным рудам (столбцы 6–11) присуще изменчивое соотношение Fe_2O_3/MnO : от 88,9 (руды окрестностей Варшавы, столбец 10) до 2,2 (болотные руды Швеции, столбец 8). В плитах из пойменных накоплений р. Бобр соотношение Fe_2O_3/MnO достигает 5,8. Таким образом, аллювиально-болотные руды иногда выступают значительными депонентами марганца. Аккумуляции *серы* не отмечено в почвенных железо-марганцевых конкрециях (столбцы 1, 2), в болотной руде из поймы р. Бобр (столбец 6), в вишневой охре (столбец 13). Ее несколько больше в ортштейне и руде из поймы р. Друть (столбцы 5, 7). В очевидно повышенном количестве сера содержится только в железорудном слое на границе «торф–мел» (столбец 12), что, по-видимому, указывает на возможность образования сульфидов в континентальном торфянике, контактирующем со щелочной средой. *Фосфор* не включается в почвенные рыхлые порошковидные железо-марганцевые конкреции (столбцы 1–2). В твердых ортштейнах из Красносельского (столбец 5) фосфора несколько больше. Еще более богаты элементом болотные руды (как кавернозные плиты, так и охра, – столбцы 8, 10), где, вероятно, присутствуют фосфаты железа, не регистрируемые рентгеном и не видные в шлифах. При этом среди болотных руд есть как сильно фосфорные (до 8,20% P_2O_5 в рудах из поймы р. Друть – столбец 7), так и менее фосфорные разновидности. Так или иначе, болотные руды выступают значительным долговременным депонентом фосфора. В целом наиболее фосфорные тела относительно небогаты марганцем и наоборот.





Содержания *бария* всегда выше кларковых, причем его концентрации особенно велики в железо-марганцевых рыхлых почвенных конкрециях (12,1–23,5 кларка – столбцы 1, 2). Содержания *кобальта* (за исключением 3 случаев) превышают кларк. Особенно значительны концентрации в рыхлых железо-марганцевых педогенных конкрециях (столбцы 1–4) и болотных рудах Швеции (столбец 8) – в объектах, наиболее богатых марганцем по сравнению с железом. Это подтверждает известное мнение о манганофильности кобальта в отличие от сидерофила *хрома* [20], аномальная концентрация которого среди белорусских объектов (155 мг/кг) встречена в лишенном марганца ортштейне (столбец 5). *Медь* в количестве, превышающем кларковое, накапливается во всех разностях, кроме белорусских аллювиально-болотных руд (столбцы 6, 7) и горизонта на контакте «торф–мел» (столбец 12). В рыхлых железо-марганцевых конкрециях (столбцы 1–4) концентрация меди составляет 3,1–5,2 кларка, а в твердом ортштейне (столбец 5) 5,7 кларка. *Никель* и часто *свинец* аккумулируются в рыхлых почвенных конкрециях (столбцы 1–4). Единственная аномалия *ванадия* приурочена к твердому почвенному ортштейну (столбец 5). Концентрации *цинка* изменчивы: в пределах каждой из морфологических разностей они могут значительно превышать кларк, но могут быть и невысокими и даже не обнаруживаемыми.

Скопления оксидов железа и марганца в подпочвенной части четвертичного покрова. Морфологические особенности и механизмы образования скоплений оксидов железа и марганца, локализованных ниже почвы, разнообразны. Одна из разновидностей – это горизонты, внешне сходные с таковыми аллювиально-болотных руд. Так, черные плотные коры (горизонты, линзы) мощностью от нескольких см до метра и протяженностью в десятки метров вскрыты карьером близ д. Гардавице (Польша, Силезское воеводство) на глубине 4 м. Аналогичный по условиям залегания и внешнему облику горизонт минерализации был выявлен во флювиогляциальных отложениях близ д. Пиваши Солигорского района. Генезис обсуждаемых горизонтов не может быть связан ни с подзолистым (глубина залегания тел слишком велика), ни с болотным процессом (поскольку минеральные проявления локализованы на хорошо дренируемых водоразделах). Происхождение минерализации можно связывать с какими-то палеообстоятельствами (приледниковой, перигляциальной) и интенсивным развитием оглеения в деятельном слое вечной мерзлоты или в горизонтах межмерзлотных вод.

Еще одна из изученных разностей локализована не в четвертичных отложениях, а непосредственно под ними. Это железорудное выполнение трещин в гранитном массиве в пос. Микашевичи. Образцы отобраны с глубины 15 метров от дневной поверхности, примерно в 6 метрах ниже перекрывающей гранит четвертичной песчаной толщи. В темно-серых, почти черных рудных корках мощностью до 5 мм среди рентгеноморфных оксидов железа, гетита и гематита имеются реликты сидерита.

Своеобразные аутигенные железистые образования были встречены в подошве вислинской (поозерской) морены (гл. 12–13 м), залегающей непосредственно на юрских известняках близ пос. Вапенно Куявско-Поморского воеводства Польши. Здесь отдельные окатанные известняковые гальки (диаметром 4–6 см) заключены в твердую черную оболочку мощностью 3–7 мм. По данным рентгендифрактометрического анализа, в ней доминирует гетит и, возможно, имеется малая примесь сидерита.

В песчаных и песчано-гравийных отложениях в Беларуси и Польше изредка встречаются обломки пиритсодержащих пород, почти полностью (за исключением ядра) замещенные оксидами железа (III). Иногда внутри гетитовой оболочки (в полости)





сохраняются только отдельные агрегаты – остатки пиритносового материала. Окисление пирита сопровождается выделением серной кислоты и создает агрессивную среду.

Вероятно, поэтому в соседстве с измененными пиритами залегают легкие, рыхлые чаще коричневато-желтые, реже вишнево-красные образования галечной размерности без признаков зонального строения, сложенные порошковидной охрой (иногда с повышенным содержанием кальция). Это продукты замещения карбонатных обломков в кислой среде с обилием растворенного железа.

Кроме названных разновидностей следует назвать плотные твердые полые конкреции, сложенные бурыми оксидами железа, причем в железорудной оболочке, нередко наблюдается чередование темных, иногда почти черных, и светлых буровато-желтых зон. Внутренняя полость конкреций выстлана желтым плотно литифицированным материалом. Происхождение таких полых конкреций можно связывать с растворением карбонатных обломков после покрытия их железорудной оболочкой.

Широко распространенной формой аккумуляции оксидов железа и марганца являются пленки, рубашки на песчаных зернах. В статье рассматриваются техногенные варианты таких покрытий.

Среди объектов обсуждаемой группы (таблица 4) содержания SiO_2 , главного компонента обломочной фракции, варьирует от 4,11% до 83,2%. Соотношения $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}$ значительно варьируют. Минимальное соотношение (0,41) зарегистрировано в рудном горизонте из толщи близ д. Пиваши Солигорского района (столбец 1) и в оболочках на песчаных кварцевых зернах из водоочистных сооружений г. Саарбрюкена (0,81, столбец 14). Относительно высоким содержанием *марганца* характеризуются также продукты замещения карбонатных обломков – полые гетитовые конкреции, гетитовая рубашка на карбонатном обломке и оксиды из трещин Микашевичского гранитного массива (столбцы 8, 9, 12). В остальных объектах содержание марганца либо кларковое, либо превышает его в несколько раз, максимум на 1 порядок. Концентрации *фосфора* также изменчивы. В 10 случаях из 17 они колеблются от аналитического нуля до значений, превышающих ССЧО не более чем вдвое. Способностью к удержанию фосфора обладают оксиды водоочистных сооружений (4,39% P_2O_5 , столбец 14) и в какой-то мере следующие: гетитовая оболочка пиритсодержащего обломка (0,61% P_2O_5 , столбец 4а); охристый продукт замещения пирита (1,10% P_2O_5 , столбец 6); гетитовые оболочки карбонатных обломков (0,76% P_2O_5 , столбец 8 и 0,92% P_2O_5 , столбец 9); охра, замещающая карбонатный обломок (1,05% P_2O_5 , столбец 10). Таким образом, в подпочвенной части четвертичных отложений возможно депонирование фосфора в оксидах (хотя и в существенно меньшей степени, чем в почве). *Сера* в заметных (очевидно превышающих ССЧО) количествах встречается только в пиритсодержащих обломках и в продуктах их неполного изменения. Содержание *бария* всегда несколько выше кларковых. Максимальное количество элемента (10027 мг/кг) зарегистрировано в техногенно загрязненных существенно марганцевых оксидах водоочистных сооружений г. Саарбрюкен и в преимущественно марганцевом рудном проявлении из Солигорского района (1200 мг/кг, столбец 1). В целом масштабы аккумуляции бария меньше, чем в аллювиально-болотных рудах, рыхлых почвенных конкрециях, карбонатных сталактитах. Концентрации *кобальта* иногда несколько выше кларковых, причем его повышенные содержания коррелируют с обогащенностью марганцем. *Хром* встречен в единственном объекте. Содержания *никеля* иногда достигают значительных величин. Доля *свинца* может объясняться его вхождением в обломочную часть минеральных скоплений. Это в целом касается и *ванадия*. Однако в трех случаях выявлены его аномально



высокие концентрации (100 и более мг/кг): в охристых продуктах изменения пирита и карбонатов (столбы 7, 10, 11). Максимальные концентрации *меди* зарегистрированы в техногенных оксидах из Саарбрюкена (столбец 14) и в тех же охристых образованиях, где имеются аномалии ванадия. Содержания *цинка*, как правило, превышают кларковые. Однако его нет в рудном горизонте из Гардавице (столбец 2), пиритсодержащих обломках и продуктах их изменения (столбцы 2–3а).

Диагенетические оксиды железа и марганца в озерных отложениях. Скопления оксидов железа и марганца, связываемые с процессами диагенеза (взаимодействия растворов на контакте «осадок – придонная вода», а также внутри осадка), представлены несколькими разновидностями. Одна из них – это полые, темно-серые до черного преимущественно ферригидритовые и гетитовые неплотно литифицированные ризокреции диаметром 0,5–2,0 см, встречающиеся в карбонатных осадках погребенной озерной залежи Адров (Оршанский район). Они сформировались на границе восстановительных условий вблизи разлагающихся корней водной растительности и более окислительной и щелочной обстановки в толще карбонатных отложений.

В некоторых глубоких озерах образуются обогащенные железом и марганцем сапропели и илы. Скопления железа иногда приобретают конкреционную форму. В Беларуси известными местами концентрации конкреций являются озеро Ричи Браславского района и озеро Богдановское Сенненского района. В озере Ричи наиболее крупные (диаметром до 9–12 см и толщиной до 3–5 мм) плоские блюдцевидные конкреции на каменных ядрах найдены на глубинах от 8 до 12 м в прибрежной зоне [5]. Железо-марганцевое рудообразование, по-видимому, было распространено и в водоемах межледниковых этапов. На это указывают находки переотложенных железорудных конкреций в моренных и флювиогляциальных отложениях (в частности, у д. Стражево Дубровенского района). Конкреции и окисленные коры встречаются в осадках многих озер ледниковой области Европы и Северной Америки [22, 23]. В научной литературе обсуждаются возможные механизмы образования конкреций. Так, предполагается несколько путей поступления растворов, обогащенных железом и марганцем, в окислительную обстановку: с поверхностным или грунтовым стоком с водосбора; в результате диффузии из донного осадка; в результате проникновения воды из восстановленного гипоглимниона в обогащенный кислородом эпиглимнион.

Среди рассматриваемых разностей (таблица 5) существует большая вариация в соотношении Fe_2O_3/MnO . В ферригидрит-гетитовых (с примесью кальцита) ризокрециях (столбцы 1, 1а) доля *марганца* явно ниже в более глубоко залегающих (и, следовательно, образовавшихся на большей глубине) осадках. В минерализованных сапропелях (столбцы 2, 3) имеются большие различия в соотношении Fe_2O_3/MnO между осадками озер Лесковичи и Полозно. В конкрециях из озера Ричи на меньших глубинах (столбец 4) локализованы более марганцевые конкреции, чем в глубоководной части (столбец 4а) [5]. В предположительно озерной переотложенной конкреции из пункта Стражево (столбец 5) много железа, мало марганца и невелика доля кластогенного материала, что, по-видимому, указывает на образование тела на большой глубине. Соотношения Fe_2O_3/MnO в конкреции из озера Богдановское (столбцы 6, 6а) отражают степень разобщения элементов в пределах одного тела. Канадские (столбцы 7, 8) и английские (столбцы 9–11) конкреции характеризуются высокими концентрациями марганца. *Фосфор* в озерных диагенетических оксидах иногда содержится в большем количестве, чем марганец (столбцы 1а, 4а). Накопления *серы* в конкрециях и ризокрециях не происходит. Од-



нако в илах озер Лесковичи и Полозно ее концентрации несколько повышены. В объектах из



Беларуси содержания *бария* обычно несколько выше кларка, но десятикратное превышение (1 000 мг/кг) наблюдается только в оксидах из карбонатной среды (столбец 1), где есть близкий источник бария из карбонатов. Возможность сильного накопления бария иллюстрируется данными по английским и шведским оксидам (столбцы 10–12), а *кобальта* и *никеля* – данными по конкреции из Стражево (столбец 5) и по канадским, английским и шведским конкрециям (столбцы 7, 8, 12).

Материалы по зарубежным объектам свидетельствуют о возможности накопления *свинца* и *ванадия*. Содержания *меди* нигде существенно не превышают кларковые, а *стронций* обнаруживается не везде. *Цинк* является характерным элементом диагенетических оксидов. Его содержание варьирует от 5,5 до 300 кларков.

Выводы

1. В различных аутигенных скоплениях в зависимости от доминирующего в них минерала или парагенеза минералов (кальцит, оксиды железа и марганца), наличия второстепенной примеси (сульфиды, фосфаты железа), принадлежности к продуктам определенного геохимического барьера (щелочного, дегазационного, испарительного, окислительно-восстановительного и др.) ряд химических макро- и микроэлементов накапливается в количествах, значительно (иногда в десятки раз) превышающих кларковые для четвертичных отложений.

2. Типичная ассоциация микроэлементов мономинеральных кальцитовых скоплений представлена стронцием и барием (содержания выше кларковых), а также медью и никелем (содержания несколько ниже кларковых). Аномально высокими концентрациями стронция и бария (десятки кларков) отличаются эфемерные сталактиты на бетонных сооружениях – продукты чрезвычайно сильного щелочного барьера. Присутствие некоторых элементов, не характерных для кальцита (свинца, цинка, хрома и др.), в его составе может служить индикатором аномалий (в т.ч. техногенных) минералообразовательного раствора. Примесь диагенетического вивианита к озерному кальциту приводит к заметному обогащению карбонатного осадка фосфором, цинком, барием, никелем, медью. Рассеянная сульфидная минерализация прослеживается по повышенной доле серы (до 2%) и железа.

3. В генетически различных скоплениях оксидов железа и марганца концентрации ряда элементов значительно варьируют. Обилие марганца по сравнению с железом в рыхлых педогенных конкрециях связано с относительно невысокой степенью гидроморфизма почв. Малое соотношение Fe_2O_3/MnO характерно для озерных конкреций, локализованных в относительно мелководных частях водоемов. Марганец может активно аккумулироваться в подпочвенной части терригенных отложений в преимущественно гетитовых образованиях, формирующихся на щелочном барьере, а также преобладать над железом в оксидах сцементированных горизонтов. Фосфор депонируется в аллювиально-болотных рудах, озерных диагенетических оксидах, в меньшей степени в гетитовых продуктах, образовавшихся под почвой на щелочном барьере. Наиболее богатые фосфором оксиды, как правило, содержат малую долю марганца. Среди скоплений оксидов железа и марганца главными аккумуляторами бария (десятки кларков) выступают рыхлые почвенные конкреции и аллювиально-болотные руды. Повышенные концентрации бария присущи телам, обогащенным марганцем. В железо-марганцевых оксидах, различных по генезису и особенностям локализации в четвертичном покрове, активно накапливается цинк (десятки и более ста кларков). В отдельных образцах ско-



плений оксидов отмечены концентрации кобальта, меди, никеля, редко хрома, на порядок превышающие кларки, а также содержания свинца и ванадия, достигающие нескольких кларковых величин. При этом кобальт аккумулируется совместно с марганцем и разобщается с хромом. Названные аномалии, по-видимому, обусловлены микроэлементной специализацией минералообразовательных растворов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукашев, К.И. Геохимические особенности моренного литогенеза / К.И. Лукашев, С.Д. Астапова. – Минск : Наука и техника, 1971. – 196 с.
2. Кузнецов, В.А. Геохимия аллювиального литогенеза / В.А. Кузнецов. – Минск : Наука и техника, 1973. – 280 с.
3. Матвеев, А.В. Ледниковая формация антропогена Белоруссии / А.В. Матвеев. – Минск : Наука и техника, 1976. – 160 с.
4. Петухова, Н.Н. Геохимия почв Белорусской ССР / Н.Н. Петухова. – Минск : Наука и техника, 1987. – 231 с.
5. Жуховицкая, А.Л. Геохимия озер Белоруссии / А.Л. Жуховицкая, В.А. Генералова. – Минск : Наука і тэхніка, 1991. – 203 с.
6. Бордон, В.Е. Кларки породообразующих элементов в четвертичных отложениях Беларуси / В.Е. Бордон [и др.] // ДНАН Беларуси. – 2003. – Т. 47. – № 1. – С. 104–106.
7. Бордон, В.Е. Кларки микроэлементов в четвертичных отложениях Беларуси / В.Е. Бордон [и др.] // ДНАН Беларуси. – 2002. – Т. 46. – № 6. – С. 80–82.
8. Махнач, Н.А. Аутигенные карбонатные минералы в четвертичных отложениях Беларуси / Н.А. Махнач. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 215 с.
9. Ho, D.W.S. Carbonation of concrete and its prediction / D.W.S. Ho, R.K. Lewis // Cem. Concr. Res. – 1987. – V. 17. – P. 489–504.
10. Силаев, В.И. Современные карбонатные минерализации на испарительных и седиментационно-диагенетических изотопно-геохимических барьерах / В.И. Силаев [и др.] – Сыктывкар : Геопринт, 2008. – 68 с.
11. Taylor, K.G. The role of grain dissolution and diagenetic mineral precipitation in the cycling of metals and phosphorus: A study of a contaminated urban freshwater sediment / K.G. Taylor, S. Boulton // Applied Geochemistry. – 2007. – V. 22. – № 7. – P. 1344–1358.
12. Ковалев, В.А. Болотные минералого-геохимические системы / В.А. Ковалев. – Минск : Наука и техника, 1985. – 327 с.
13. Stiles, C.A. Pedogenic iron-manganese nodules in Vertisols: a new proxy for paleoprecipitation? / C.A. Stiles, C.I. Mora, S.G. Driese // Geology. – 2001. – V. 23. – № 10. – P. 943–946.
14. Latrille, Ch. Physical speciation of trace metals in Fe-Mn concretions from a rendzic lithosol developed on Sinemurian limestones (France) / Ch. Latrille [et al.] // Geoderma. – 2007. – V. 100. – P. 127–146.
15. Тимофеева, Я.О. Железо-марганцевые конкреции как накопители тяжелых металлов в некоторых почвах Приморья / Я.О. Тимофеева, В.И. Голов // Почвоведение. – 2007. – № 12. – С. 1463–1471.
16. Ljunggren, P. Geochemistry and radioactivity of some Mn and Fe bog ores / P. Ljunggren // Geol. Foren. Stockholm. Forh. – 1955. – V. 77. – P. 33–44.
17. Manheim, F.T. Manganese-iron accumulations in the shallow marine environment / F.T. Manheim // Mar. Geocem. Proc. Symp. – 1965. – P. 217–276.



18. Kaczorek, D. A comparative micromorphological and chemical study of «Rasensenstein» (bog iron ore) and «Ortstein» / D. Kaczorek [et al.] // *Geoderma*. – 2004. – V. 121. – P. 83–94.

19. Breuning-Madsen, H. Comparison of the composition of iron pans in Danish burial mounds with bog iron and spodic material / H. Breuning-Madsen, J. Ronsbo, M.K. Holst // *Catena*. – 2000. – V. 39. – P. 1–9.

20. Водяницкий, Ю.Н. Состав Fe-Mn ортштейнов по результатам синхротронного рентгеновского анализа / Ю.Н. Водяницкий // *Почвоведение*. – 2006. – № 2. – С. 168–178.

21. Manceau, A. Natural speciation of Ni, Zn, Ba, and As in ferromanganese coatings on quartz using X-ray fluorescence, absorption, and diffraction / A. Manceau, M. Lanson, N. Geoffroy // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2007. – V. 71. – P. 95–128.

22. Gorham, E. The influence of oxidizing and reducing conditions upon the distribution of some elements in lake sediments / E. Gorham, D. Swaine // *Limnol., Oceanogr.* – 1965. – V. 10. – № 2. – P. 268–279.

23. Harris, R.C. Chemistry and origin of freshwater ferromanganese concretions / R.C. Harris, A.G. Troup // *Limnol., Oceanogr.* – 1970. – V. 15. – № 5. – P. 702–712.

N.A. Makhnach. Accumulation of Chemical Macro- and Trace Elements in Pleistocene and Holocene Authigenic Mineral Bodies

It is argued, that the contents of some chemical elements in authigenic mineral bodies may significantly exceed clarke values for quaternary deposits as a whole. Typical association of microelements in monomineral calcitic lake, spring, pedogenic, technogenic accumulations is represented by strontium, barium, copper and nickel. Admixture of diagenetic vivianite to lacustrine calcite causes enrichment of carbonate deposits in phosphorus, zinc, barium, nickel and copper. Disperse sulfide mineralisation in calcareous sediments can be traced by an increased portion of sulfur (up to 2%) and iron. Large amounts of manganese, phosphorus, barium, zinc, copper, cobalt, nickel, chromium, lead and vanadium can be sequestered in genetically different accumulations of Fe-Mn oxides (loose pedogenic nodules and hard ortsteins, alluvial-bog ore, cemented horizons in subsoil parts of terrigenous deposits, lake diagenetic concretions and crusts). Mineralogically similar authigenic bodies may be the products of different geochemical barriers. This leads to the differences in tendencies and scale of chemical elements accumulation in authigenic phases.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 21.09.10



УДК 504.062; 379.8.091.8

Е.Н. Мешечко, Д.В. Никитюк

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ТУРИЗМЕ

Предложена методика исследования туристских территориальных систем на основании реализации ландшафтного подхода с целью определения комфортных условий для развития различных видов туризма. Установлено логическое единство ландшафтных и туристских исследований. Осуществлено ландшафтное обоснование профиля функционирования туристских территориальных структур.

Введение

Современные тенденции в исследовании туристских территориальных систем требуют конкретизации пространственных границ и установления условий и ресурсов для создания и развития туристских ландшафтов, при котором будет учтен наиболее полный спектр факторов, влияющих на поддержание в функциональном состоянии туристских предприятий и комплексов. В связи с этим необходима реализация потенциала ландшафтных исследований при определении и оптимизации системы землепользования. Целью исследования является определение ландшафтного измерения туристской рекреационной системы на примере Брестской области.

Материалы и методика исследования

Под ландшафтом, в соответствии с определением Н.А. Солнцева, подразумевается генетически однородный природный территориальный комплекс, имеющий одинаковый геологический фундамент, один тип рельефа, одинаковый климат и состоящий из свойственного только данному ландшафту набора динамически сопряженных и закономерно повторяющихся в пространстве основных и второстепенных урочищ [1, с. 114]. Следовательно, ландшафт является системой, обладающей структурой, исследование которой может быть выражено в его вертикальном и горизонтальном строении. Вертикальное строение ландшафта включает в себе изучение природных компонентов и элементов, которые представлены в вертикальном разрезе ландшафта и являются фрагментами всех сфер географической оболочки. Данный аспект заключается в исследовании компонентов и элементов ландшафтов, а также их взаимодействия. Горизонтальное строение ландшафтов отражает пространственную дифференциацию природных территориальных комплексов, образующих сложные взаимосвязанные и соподчиненные системы. В зависимости от масштаба и уровня исследования горизонтальное строение ландшафтов представлено различными природно-территориальными комплексами. На локальном уровне это единицы морфологического строения ландшафтов (урочище, фация), на региональном – единицы их классификации (класс, тип, род, вид). Локальный уровень является элементом исследования ландшафтных ресурсов в пределах конкретного туристского ландшафта, а региональный – туристских ландшафтных условий.

Применение ландшафтного подхода в сфере организации туризма осуществляется в трех направлениях: исследование ландшафтно-туристских условий, ландшафтных ресурсов и собственно сформировавшегося туристского ландшафта. Последовательность исследования природных туристских комплексов можно представить в виде схемы исследований природной основы туризма (рисунок 1). Уровни туристских ландшафтных исследований представляют собой этапы исследования туристских природных комплексов.



Рисунок 1 – Уровни туристских ландшафтных исследований

Структуру исследования туристских природных условий образуют два компонента. Первый представлен погодными условиями, в состав которых входят данные метеорологических исследований, которые заключаются в определении степени благоприятности классов погод для развития туризма. Сущность второго компонента заключается в исследовании туристских ландшафтных условий, которое может происходить по двум направлениям, не исключая друг друга. Первое направление – исследование ландшафта в качестве основы – содержит в себе определение прежде всего эстетических и экологических характеристик ландшафта. Данный тип ландшафта как ресурс используется преимущественно в качестве пейзажного наполнения территории. Дальнейшее использование ландшафта в качестве пейзажного предусматривает развитие наиболее широкого перечня видов туристской деятельности на основании созданных объектов индустрии туризма. Другими словами, направления развития туризма будут зависеть в большей степени от объектов индустрии туризма данного региона, чем от природно-климатических условий. Второе направление основано на главенствующей роли «опорных точек» ландшафта. «Опорные точки» ландшафта – это природные объекты либо явления, присутствие которых в ландшафте определяет его туристскую специализацию. В качестве «опорных точек» ландшафта необходимо рассматривать компоненты и элементы природы, которые представляют потенциальный интерес в качестве туристских ресурсов, «визитных карточек» региона. «Опорные точки» ландшафта, такие как реки, болотные массивы, источники минеральных вод и грязей, изучаются на основании собственной программы исследования. Изучение «опорных точек» ландшафта относится к исследованию ландшафтных ресурсов, которые целесообразно сочетать с исследованием пейзажных и экологических свойств ландшафта без «опорных точек».

Рекреационный (туристский) ландшафт представляет собой комплекс, целенаправленно или непреднамеренно сформированный для отдыха населения [2, с. 138]. Формируется он на основе природных ландшафтов и содержит элементы антропогенной деятельности в виде учреждений отдыха, коммуникаций, хозяйственных построек, разнообразных форм благоустройства. Сущностными отличиями исследования ландшафтно-туристских условий от рекреационных (туристских) ландшафтов заключается в том,



что исследования туристских ландшафтов представляют собой изучение объективно сложившихся туристских территориальных комплексов, локализованных в рамках определенного природного ландшафта либо на территории нескольких. Природный ландшафт развивается по естественным природным законам. Туристский ландшафт – продукт деятельности туристской сферы, моделируемый и создаваемый искусственно. Это проявляется через поддержание туристских объектов, ограничение других видов деятельности на рекреационных территориях или за счет запрета на активную хозяйственную деятельность в национальных парках и т.д. В то же время сам туристский ландшафт может оказывать существенное воздействие на природные ландшафты, которые испытывают туристское воздействие, прямое и косвенное, и могут даже потерять свою «дотуристскую» идентичность.

В свою очередь исследование туристских ландшафтных условий заключается в изучении системообразующих компонентов и элементов природы и пространственных аспектов взаимодействия в пределах туристских территориальных структур, участвующих в формировании природных туристских комплексов. Важную роль при этом играет анализ ландшафтных карт, в которых ландшафт предстает в горизонтальной развертке, что предполагает проведение туристского проектирования и планирования развития территории. Реализация туристских ландшафтных исследований может основываться на проведении ландшафтно-туристского анализа и далее туристской диагностики ландшафтов.

Сущность ландшафтно-туристского анализа состоит в выявлении качеств ландшафта, степени благоприятности ландшафтов для посещения с целью отдыха и получения различного рода впечатлений. К основным задачам ландшафтно-туристского анализа относятся комплексное и реже покомпонентное (уровень отдельных ландшафтных таксонов: тип, подтип, род, подрод) исследование экологического состояния и туристского потенциала, рекреационной емкости, устойчивости ландшафтов к антропогенным нагрузкам, а также определение экологических ситуаций в пределах рассматриваемой территории. Методика проведения ландшафтно-туристского анализа в узком смысле заключается в оценке различных таксонов ландшафтов по степени благоприятности для туристско-рекреационного использования.

Исследование классов и типов ландшафтов предоставляет информацию исключительно об общей характеристике ландшафтов области, а не о пространственной дифференциации явлений и процессов. Оценка классов и типов ландшафтов в пределах Брестской области предоставляет наиболее обобщенное представление о туристской специализации. Однако следует отметить, что данная общая информация о природе региона чаще всего является основным элементом при выборе территории для посещения со стороны иностранных туристов. На исследовательском уровне организаторов туризма данные таксоны являются очевидными и требуют компонентной детализации и пространственной локализации при изучении групп родов, родов и подродов. Изучение группы родов обеспечивает при туристско-ландшафтном анализе определение факторов вертикальной дифференциации рельефа. Увеличение абсолютной высоты местности и связанные с этим явления – понижение атмосферного давления, недостаток кислорода, понижение температуры воздуха – сказываются негативно на здоровье человека. Вместе с тем возвышенные ландшафты обладают высокой аттрактивностью и значительным рекреационным потенциалом. В условиях равнинных территорий расчлененный рельеф повышает эстетические и рекреационные свойства ландшафтов, а также снижает их сельскохозяйственную ценность, что является немаловажным, так как препятствует образова-



нию конфликтных ситуаций между отраслями хозяйства. Изучение родов заключается в оценке растительности на уровне формаций и почвенного покрова. Растительность обогащает среду обитания человека, оказывает большое влияние на рекреационные, эстетические, бальнеологические свойства ландшафта. В этом отношении наиболее велика роль лесных сообществ, препятствующих развитию негативных экзогенных процессов, обуславливающих устойчивость ландшафта, способных создавать местный микроклимат. Ключевыми направлениями применения леса в сфере организации туризма является пейзажное и бальнеологическое. Примером бальнеологического эффекта является использование растительности для лечения заболеваний сердечнососудистой системы, в этих целях больше всего подходят смешанные леса из ели, березы и дубовые насаждения. Сосновые леса подходят для лечения больных с заболеваниями органов дыхания, а дубовые насаждения на сырых почвах противопоказаны больным этим заболеванием [3, с. 67]. Однако следует учитывать и иное пагубное влияние леса. К примеру, при гипертонической болезни, бронхиальной астме нахождение в хвойных лесах, особенно молодых сосновых, вызывает обострение болезни. Исследование ландшафтов на уровне подрода реализует необходимость исследования почвенного покрова и учета степени сельскохозяйственной освоенности территории области. Значение почвенного покрова заключается в его индикационных свойствах, основанных на том, что почва является «зеркалом» ландшафта, в котором отражаются все процессы и явления, протекающие на данной территории. Почва управляет возобновлением биогеоценоза при его нарушении. Она также может стать сигналом, пусковым механизмом ряда сукцессий. Почвенный покров в отличие от растительности и рельефа при дальнейших исследованиях не выступает в качестве туристского природного ресурса, а остается лишь фактором, обуславливающим экологические характеристики ландшафта.

Туристская диагностика ландшафтов заключается в определении профиля (специализации) туристских типов ландшафтов. Туристские типы ландшафтов являются производным результатом сопоставления данных ландшафтно-туристского анализа с перечнем наиболее актуальных видов и направлений туристской деятельности, которые возможно реализовать при существующих погодных условиях. Для территории Брестской области целесообразно выделять три туристских типа ландшафтов: универсальные, специализированные, специфические, а также особый природоохранный тип ландшафта, представленный особо охраняемыми природными территориями.

Обсуждение результатов исследования

Все виды туризма обладают ландшафтным измерением. В некоторых из них туристский ландшафт является важнейшей составляющей туристского продукта, в этом случае значение ландшафта заключается в его пейзажных и экологических свойствах. В других – важна роль среды, фона, окружающей территории, в которой находится природный объект туристского посещения. Данная вмещающая среда проявляется в виде ландшафтного аспекта туристско-рекреационной системы [4, с. 126].

В Брестской области на современном этапе развития туризма возникает ряд проблем, решение которых заключается в рациональной и эффективной организации функционирования существующих туристских территориальных структур.

В настоящее время, в качестве условия существования туристских территориальных структур необходимо рассматривать потребительский спрос на их посещение.

Другими словами, туристский район является единым структурированным туристским продуктом. В связи с этим необходимо отметить современные рыночные принципы выделения туристских территориальных структур (дестинаций):



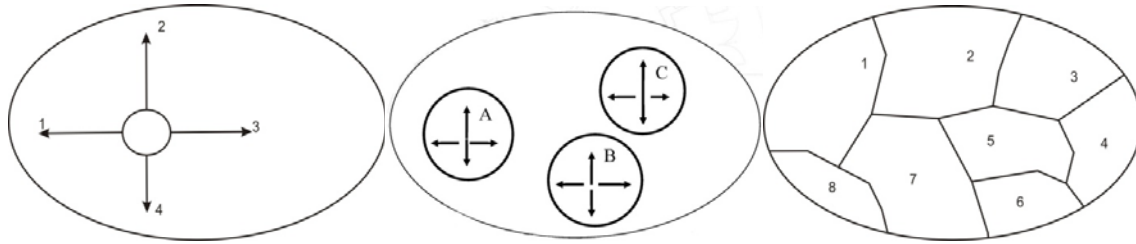
- 1) управление туристским продуктом как одним целым;
- 2) позиционирование и предложение туристского продукта как целого.

Выделение туристских территориальных структур, основанное на условиях и ресурсах природных комплексов, является отличительной особенностью районирования стран и регионов со значительным разнообразием ландшафтов. Разнообразие обусловлено различными типами ландшафтов в пределах одной территории [5, с. 149–150]. Тип ландшафтов выделяется на основании соотношения тепла и влаги, обусловивших состав и структуру биоценозов. Брестская область находится в пределах одного типа ландшафтов – умеренно-континентального лесного. В связи с этим выделение районов и подрайонов на основании границ природных ландшафтов невозможно. Границы ландшафтов на территории области не являются резко выраженными, а сами ландшафты относительно друг друга не являются контрастными природными комплексами.

В целях определения роли природных туристских условий в туристской рекреационной системе необходимо рассмотреть стратегические подходы регулирования развитием туризма в пределах туристских территориальных структур (рисунок 2). Сущность и характеристики стратегических подходов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Стратегии развития туристской дестинации [6]

	Стратегии развития туристской дестинации		
	Централизации	Расширение существующих центров	Всеобъемлющий подход
Сущность	Концентрация административных и финансовых ресурсов	Доминирующая роль существующих центров	Вся область делится на самостоятельные дестинации
Преимущества	<ol style="list-style-type: none">1. Понятная структура и распределение компетенций.2. Успех при продаже дополнительных продуктов.3. Предотвращение дублирования внутри дестинации.	<ol style="list-style-type: none">1. Возможность использования известности существующих мест и марок.2. Возможность использования и усиления существующих структур.3. Возможность концентрации финансовых средств.4. Центры компетенции.	<ol style="list-style-type: none">1. Все места включаются в концепцию дестинации.2. Мотивация для создания субрегиональных единиц.3. Высокая пригодность для больших и гетерогенных областей.4. Плодотворное влияние конкуренции и взаимодополняемость.
Недостатки	<ol style="list-style-type: none">1. Сложности эффективной реализации.2. Мотивационная проблема.3. Информационная проблема.4. Малая поддержка инноваций.	<ol style="list-style-type: none">1. Неучтённые регионы теряют своё значение.2. Необходимы стратегии для более слабых регионов туризма.3. Снижение мотивации к развитию менее значимых для развития туризма территорий.	<ol style="list-style-type: none">1. Границы дестинации определяются не с точки зрения гостей.2. Соединение многих слабых не ведет автоматически к укреплению.3. Высокие издержки координации.4. Возможные противоречия в пределах дестинаций.



1 – Централізацыі; 2 – Расшырэнне існуючых цэнтраў;
3 – Усеабап’ялючы падыход

Рисунок 2 – Стратэгіі развіцця турысцкай дэстацыі [6]

Проведение туристско-ландшафтного анализа и диагностики в качестве основы развития туристских территориальных структур необходимо при реализации стратегии всеобъемлющего подхода. На основании существующих процессов развития туризма и освоения территории области создание туристских территориальных структур повсеместно на основании ландшафтно-туристского анализа является нецелесообразным. Всеобъемлющий подход применяется чаще всего для незначительных по площади территорий островных государств. Кроме того следует учитывать, что применение всеобъемлющего подхода производится для территорий, где туризм является доминирующим источником экономического развития региона. Следовательно, причинами отказа от использования туристских типов ландшафтов в качестве основы выделения туристско-территориальных структур на территории Брестской области являются следующие:

- 1) туризм не является отраслью специализации Брестской области;
- 2) отсутствие диверсификации ландшафтов на уровне типов;
- 3) отсутствие контрастных ландшафтных границ;
- 4) незначительное количество уникальных, экологически и эстетически ценных ландшафтов, которые являются основой природного туристского каркаса;
- 5) опорными для развития массового туризма являются универсальные туристские ландшафты, которые не являются уникальными, а освоение их требует значительных капиталовложений;
- 6) на территории области значительно распространены специфические, малоблагоприятные ландшафты для развития массового туризма.

Таким образом, использование данной стратегии в настоящее время на территории Брестской области является заведомо нереализуемой.

Основными подходами к выделению туристских территориальных структур на территории Брестской области является комплексность и разделение компетенций, а также единство функционального назначения. Комплексный туристский район подразумевает наличие центров формирования спроса и предложения. На территории области на основании принципа разделения компетенций определены сферы влияния туристских центров и иерархии соподчинения административно-территориальных районов. Принцип единства функционального назначения основан на реализации определенных направлений и видов туристской деятельности. Данные принципы реализованы при туристском районировании [5] и зонировании [7] Брестской области. Определение границ туристских районов и зон происходило по административному признаку. Так, каждая из них включает в себя один или несколько административных районов, имеющих определенную схожесть по экономическому потенциалу развития и наличию туристско-рекреационных ресурсов. Границы административно-территориальных районов



в большинстве случаев не совпадают с границами природных ландшафтов. На основании этого следует, что в выделении туристских территориальных структур в первую очередь лежат административные и экономические принципы.

В пределах Брестской области, в рамках реализации развития и управления туристскими территориальными структурами, прослеживается стратегия «расширения существующих центров» (рисунок 3). В качестве центров выступают города: Брест, Барановичи и Пинск. Принцип расширения реализуется за счет туристского освоения территории, близлежащей к центру формирования спроса, на основании фактора транспортной доступности. Исключением является освоение уникальных объектов, таких как НП «Беловежская пуща», заказник «Споровский» и другие.

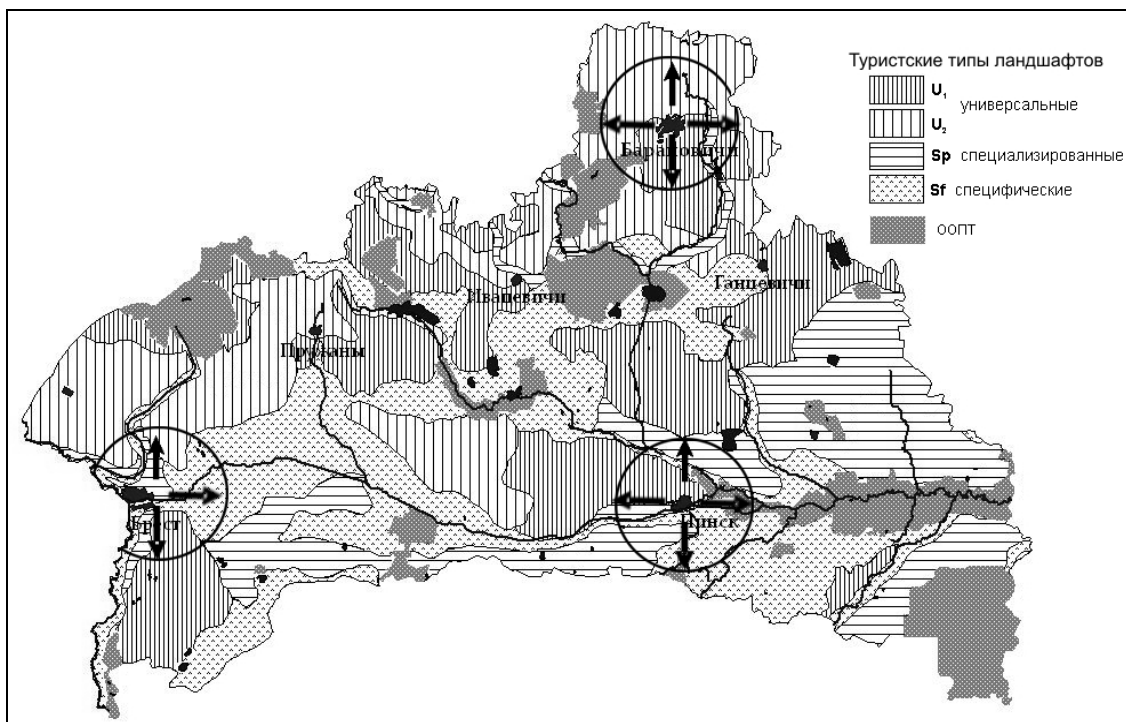


Рисунок 3 – Туристские типы ландшафтов Брестской области

Туристско-ландшафтная диагностика территории области в рамках стратегии «расширение существующих центров» заключается в обосновании освоения ландшафтов определенными направлениями и видами туризма. Установленные туристские типы ландшафтов предоставляют информацию о потенциале территории, которую планируется задействовать при расширении существующих центров туризма и зон отдыха.

В сложившейся ситуации первоочередное значение данных ландшафтно-туристского диагноза заключается в определении либо уточнении туристского профиля подрайонов Брестской области. Ландшафтное обоснование специализации туристских районов и зон предполагает использование термина «туристское состояние ландшафтов». Под туристским состоянием ландшафтов подразумевается соответствие и соотношение характеристик структуры ландшафта туристскому профилю его функционирования в какой-либо промежуток времени. Использование данного термина предоставляет возможность определить новое направление исследований, которое заключается в изучении тенденций развития туризма и поиске соответствующих типов и способов туристского природопользования.



Определение соответствия профиля функционирования туристского подрайона типу туристского профиля ландшафта усложняется существованием экскурсионного профиля Брестского и Пинского подрайонов. Экскурсионный профиль основан на историко-культурных объектах и ландшафтах. Профиль подрайонов, основанный на природных ресурсах, включает в себе использование ландшафтов в оздоровительных и экскурсионных (экоэкскурсии) целях. Данному профилю соответствуют прежде всего универсальные и отчасти специфические ландшафты. В связи с этим расширение профиля функционирования подрайонов путем учета и последующего вовлечения специализированных ландшафтов позволит осуществить развитие спортивного и экстремального направлений туризма. Специализированные направления туризма не требуют значительных капиталовложений на этапах вовлечения и развития туристских ландшафтов.

Ландшафтное обоснование специализации также следует учитывать при оценке влияния международных тенденций туристского рынка и социально-экономической ситуации в исследуемом регионе. Данные тенденции определяют характер спроса на конкретном промежутке времени и образуют ассортимент предложения, который необходимо реализовывать в соответствии с туристско-ландшафтными условиями, перечнем потенциальных направлений и видов туризма. Выражение данного временного аспекта иллюстрирует ситуация развития туризма и рекреации в 1960–1980 г., когда доминирующими направлениями развития туризма являлись оздоровительный и экскурсионный [8, с. 150]. В настоящее время к этим направлениям можно добавить в качестве потенциальных направлений сельский, экстремальный и научный туризм. Выделение таких направлений в качестве перспективных создает необходимость поиска соответствующих характеристик туристско-ландшафтных условий и выделения профильных ландшафтов.

Исследование ландшафтной дифференциации туристско-рекреационных систем территории Брестской области заключается в определении либо уточнении границ и специализации туристских районов.

Выводы

Таким образом, следует отметить, что значение использования ландшафтно-туристского исследования Брестской области заключается в установлении и уточнении профиля функционирования туристских территориальных структур, определении степени соответствия функциональному профилю (специализации) туристских типов ландшафтов, установлении логического единства физико-географических и туристских исследований, определении экологической привлекательности туристских ландшафтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнцев, Н.А. Учение о ландшафте (избранные труды) / Н.А. Солнцев. М. : МГУ, 2001. – 384 с.
2. Марцинкевич, Г.И. Ландшафтоведение : учебник / Г.И. Марцинкевич. – Минск : БГУ, 2007. – 206 с.
3. Тарасенок, А.И. Экологический туризм и рекреационное природопользование в Беларуси / А.И. Тарасенок. – Минск, 2003. – 120 с.
4. Преображенский, В.С. Основы ландшафтного анализа / В.С. Преображенский, Т.Д. Александрова, Т.П. Куприянова. М. : Наука, 1988. – 192 с.



5. Пирожник, И.И. Основы географии туризма и экскурсионного обслуживания : учеб. пособие для геогр. спец. вузов / И.И. Пирожник. – Минск : Университетское, 1985. – 253 с.

6. Менеджмент туристических дестинаций – Management von Tourismus / Фрида Райх // Туризм и отдых в Беларуси – официальный туристический портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] – 2008. – Режим доступа : belarustourism.by/download.../unterlagen_vortrag_raich_ru.pdf Дата доступа : 13.09.2009

7. Практика и перспективы разработки генеральных схем развития туристских зон в Республике Беларусь / Св. Сахарова, [и др.] // Архитектура и строительство [Электронный ресурс] – 2008. – Режим доступа : <http://ais.activemedia.by/article/37802> Дата доступа : 25.04.2010

8. Мешечко, Е.Н., Никитюк, Д.В. Развитие туризма на территории Брестской области / Е.Н. Мешечко, Д.В. Никитюк // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – Брэст, 2009.– № 1 (32). – С. 149–159.

E.N. Meshechko, D.V. Nikityuk. On Possibility of Use of Landscape Research in Tourism

The method of study of tourist territorial systems based on the implementation of the landscape approach, to determine a comfortable environment for development of different types of tourism is offered. The logical unity of landscape and tourism research is established. The landscape basing of the profile of the functioning of tourist territorial structures is realized.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 08.09.10



УДК 504: 911.52

Н.В. Михальчук

ОРХИДНЫЙ ПОЯС ПОЛЕСЬЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ БОТАНИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Развивается концепция «Орхидного пояса» Полесья в контексте идентификации ключевых ботанических территорий. Показано, что система созданных и перспективных особо охраняемых природных территорий в южной части Малоритской равнины и Средне-Припятской низины обеспечивает поддержание особо ценных комплексов редких видов растений и фитоценологических объектов. В границах «Орхидного пояса» отмечается 34 вида растений из охранных категорий Красной книги Республики Беларусь, 8 из которых относятся к семейству Orchidaceae Juss. Наиболее репрезентативные сегменты «Орхидного пояса» Белорусского Полесья предлагается рассматривать с точки зрения их соответствия критериям, принятым для выделения ключевых ботанических территорий (ИРА).

Сохранение ландшафтного и биологического разнообразия (БР) на локальном, национальном и международном уровнях признается актуальнейшей проблемой современности и является одним из основных направлений в современной системе охраны природной среды Республики Беларусь. Это подтверждается рядом нормативно-правовых актов государства, а также обязательствами международно-правового характера, которые страна выполняет в силу принятых международных Конвенций и Соглашений природоохранной направленности.

Проблема сохранения БР флоры является одной из наиболее острых среди первоочередных природоохранных задач, актуализированных для условий Белорусского Полесья. Гарантированное сохранение генофонда угрожаемых видов растений может быть обеспечено только в составе соответствующих сообществ и должно реализовываться в контексте охраны их ценофонда. Ценопопуляции (ЦП) редких видов развиваются в границах конкретных фитоценозов – здесь реализуется их эволюционная и экологическая сущность. В этой связи наиболее действенным направлением сохранения БР видов и экосистем является организация особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Они могут иметь различный масштаб и специфику: от памятников природы и заказников местного значения до национальных парков, заповедников и биосферных резерватов, включая международные.

В соответствии с действующим законодательством система ООПТ Республики Беларусь формируется в рамках реализации «Схем рационального размещения особо охраняемых природных территорий» [1]. Первая «Схема...» была разработана научно-исследовательскими и проектными учреждениями Беларуси в 1983 г. В ее основу изначально был положен ландшафтно-экологический подход организации ООПТ в рамках единой территориально непрерывной системы, основанной на концепции природно-миграционных русел [2]. Данная идея на 10 лет предвосхитила концепцию создания экологических сетей: принятая в 1993 г. «Паневропейская стратегия по сохранению видового и ландшафтного разнообразия» провозгласила создание первой в мире экологической сети (ЭКОНЕТ), которая была определена как «система функционально и территориально взаимосвязанных природных территорий, обеспечивающая устойчивое состояние биосферы и функционирование естественных систем жизнеобеспечения человека» [3].

После принятия первой «Схемы...» наиболее интенсивное увеличение площадей ООПТ происходило в Брестской и Витебской областях. Так, если на начало 80-х гг.



прошлого столетия на территории Брестской области существовало лишь 7 заказников республиканского значения общей площадью 95 544 га (3,0% от территории области), то по состоянию на 01.01.2000 г. (середина периода реализации второй «Схемы...») их насчитывалось 19, а занимаемая ими площадь достигла 327 189 га (10,1%).

В силу ряда причин на протяжении многих десятилетий при обосновании новых ООПТ в Белорусском Полесье внимание учёных было сконцентрировано (и зачастую продолжает фокусироваться) прежде всего на водно-болотных угодьях. Признавая их исключительную роль в сохранении ландшафтного и биологического разнообразия региона, следует отметить, что в строгом биогеографическом смысле они относятся к числу интразональных систем [4]. Типично зональные сообщества обычно формируются в автоморфных условиях хорошо дренируемых территорий. Эталоном природной зональности в границах южной геоботанической подзоны являются дубравы (в виде грабовых дубрав как климатически замещённого варианта формации дубовых лесов). Поэтому вполне справедливо отмечается, что плакорные дубравы – потенциальные первоочерёдные приоритеты общеевропейского биоразнообразия в регионе [5]. Однако, учитывая специфику Полесского региона, которая определяется повышенным гидроморфизмом (грунтовым, натечным, пойменным), необходимо признать известную условность категории «автоморфный плакор» в условиях полесий.

Влияние природных вод преобладающего в Полесье гидрокарбонатно-кальциевого класса на формирование ландшафтов выразилось в частности в том, что периоды с усиленным выпотным водным режимом фиксировались в супераквальных условиях чёткими генерациями мергельно-меловых отложений. Они весьма характерны для островных участков в границах крупных древнеозёрных котловин и их береговых зон, зачастую захороненных эоловыми отложениями, для краевых зон блочных микроповышений I и II надпойменных террас. В результате образовались своеобразные ландшафты с кальцием в качестве типоморфного химического элемента – гидрогенно-карбонатные ландшафты [6]. Образую сопряжения с фациями низинных болот и занимая в «море подзолов и торфяно-болотных почв» Белорусского Полесья площадь до 450 тыс. га [7], они резко выделяются своим эдафическим потенциалом и определяют гетерогенность растительности и высокие уровни БР флоры. Так, если парциальные флоры высших сосудистых растений (ВСП) в границах мезофитохор плакорных дубрав Загородья, как правило, не превышают 35–40 видов, то флоры аналогичных по площади островных экотопов карбонатно-кальциевой аккумуляции на Малоритской равнине достигают 80–90 видов, до 10% из которых, как правило, – ценные и уникальные в эволюционном отношении объекты. В отдельных случаях видовое богатство флор карбонатных мезоэкотопов приближается к 200 видам.

Для представительной группы кальциефильных видов растений наличие в почвах карбоната кальция, а также нейтральная или слабощелочная реакция среды являются постоянными и необходимыми эдафическими факторами [8]. Среди этих видов чаще других отмечаются представители семейства *Orchidaceae* Juss.

Орхидные представлены однодольными многолетними наземными или эпифитными травянистыми растениями. Семейство включает около 800 родов и 30 000 видов [8]. В Республике Беларусь встречаются 33 вида орхидей, относящихся к 17 родам. Подавляющее большинство их выявлено и на территории Белорусского Полесья; эндемические виды отсутствуют. Орхидные – одно из наиболее высокоспециализированных и вследствие этого уязвимых семейств фитобиоты: большинство представителей орхидных реагируют на малейшие изменения среды обитания. В этой связи



преобладающее большинство видов орхидных включено в «Красные книги» и аналогичные издания для многих территорий. Так, из 33 видов орхидных флоры Беларуси 21 вид (63,6%) занесен в Красную книгу Республики Беларусь (2005), а 12 представителей семейства (36,4%) – в список видов, которые требуют профилактической охраны [9]. Таким образом, все без исключения виды орхидных флоры Беларуси отнесены к числу редких и исчезающих и требуют соответствующих мер охраны.

Показательно, что 1/3 наших «краснокнижных» орхидей тяготеют к карбонатным эдафотопам. Наиболее надёжным их индикатором является *Cypripedium calceolus* L. – вид, первым взятый под охрану в Европе (1878 г., Швейцария). Его созологический статус в Красной книге Республики Беларусь – III-я категория (VU) – уязвимый вид. Он занесен в Приложение II к Конвенции СИТЕС, в Приложение I к Бернской конвенции и в Приложение II к Директиве Европейского Союза о местах обитания. На протяжении последних 20 лет на территории Брестского и Припятского Полесья выявлено свыше 60 местонахождений вида общей численностью около 16 тыс. побегов, что оценочно составляет около 12–15% численности европейской популяции вида. Наиболее крупные популяции *C. calceolus* сосредоточены в Кобринском районе (биологический заказник «Дивин–Великий Лес», система островных дендромассивов в агроландшафтах ОАО «Днепробугское»), Малоритском районе (биологические заказники «Луково», «Хмелевка»), Пинском районе (биологический заказник «Изин», перспективный для охраны объект «Сошно») (рисунок 1).

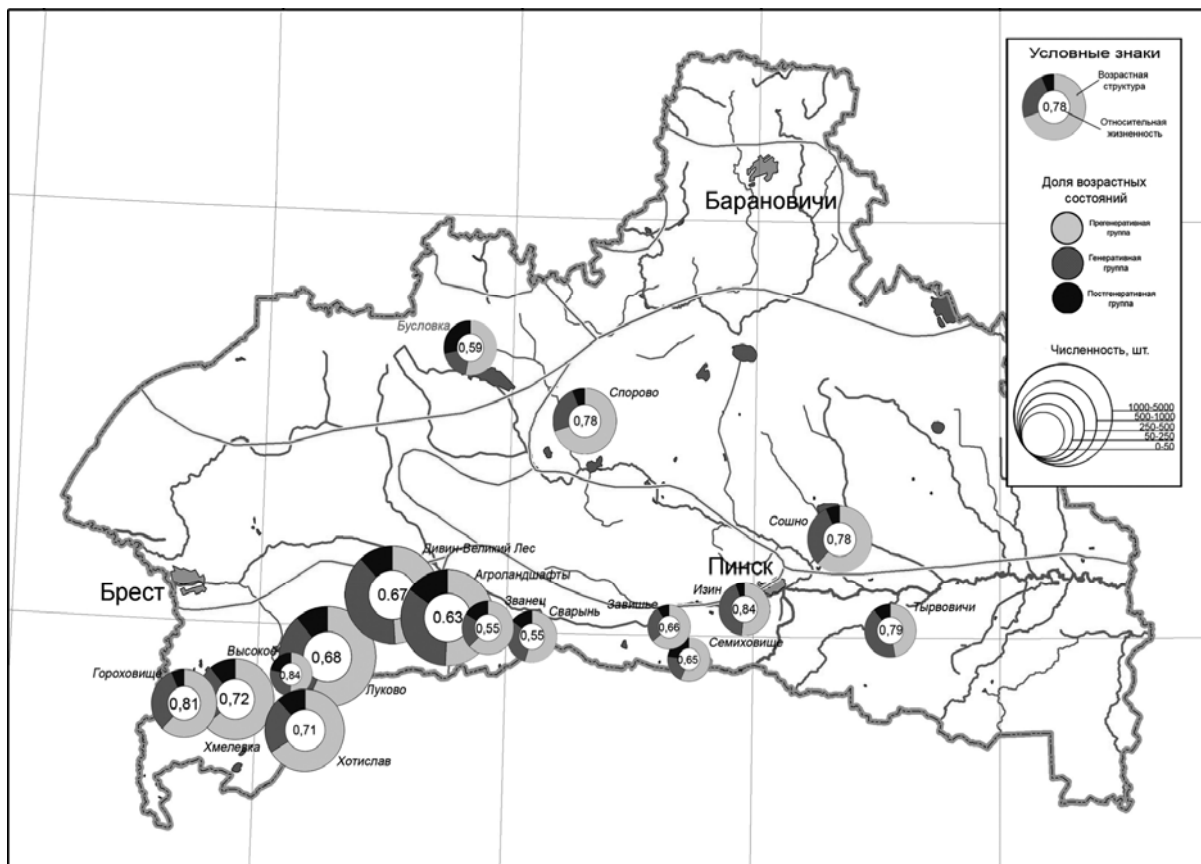


Рисунок 1 – Распространение и основные демографические характеристики ЦП *C. calceolus* в Брестском и Припятском Полесье



Результаты исследований орхидных в южной полосе грабовых дубрав стали среди прочих факторов серьезным основанием для создания ряда охраняемых территорий: Государственных биологических заказников «Луково», «Тырвовичи», местных биологических заказников «Дивин–Великий Лес», «Хмелевка», «Изин», ботанического памятника природы «Высокое». Кроме того, были выявлены следующие перспективные для охраны объекты, в том числе и предложенные для включения в третью «Схему...»: «Днепробуг», «Сварынь», «Сошно», «Мельники», «Хотислав» и др. Все они в пределах Малоритской равнины и Средне-Припятской низины образуют ряд (в прямом смысле этого слова) заповедных территорий, связанных между собою непосредственной топографической близостью, относительной континуальностью лесной и болотной растительности, флористической родственностью, в том числе и в отношении охраняемых видов, и образуют своеобразный пояс, названный нами Орхидным [10].

На территориях «Орхидного пояса» отмечается 34 вида ВСР, включённых в Красную книгу Республики Беларусь (2005), что составляет более 19% от числа категориальных видов издания (таблица 1).

Наиболее репрезентативными в данной группе являются Орхидные – 8 видов (или 23,5% от числа выявленных охраняемых видов); остальные семейства представлены 1–3 видами. Кроме *C. calceolus* в группе орхидей представлены: *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch. (III), *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. (III), *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Brnh.) Bess. (III), *Gymnadenia conopsea* (L.) R.Br. (III), *Listera ovata* (L.) R.Br. (IV), *Orchis mascula* L.(II), *Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichenb. (III).

В границах Орхидного пояса также установлены местообитания 28 видов, занесенных в список растений Красной книги, нуждающихся в профилактической охране (около 22,0% его объема). Среди них 5 видов орхидей (или около 19%): *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo, *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Epipactis helleborine* (L.) Crantz., *Neotia nidus-avis* (L.) Rich., *Platanthera bifolia* (L.) Rich.











Концептуальна ідея Орхидного пояса Полесья наиболее близка основным положениям международной программы «Ключевые ботанические территории» («Important Plant Areas» – IPA), начало реализации которой положено в 2002 г. на 6 Конференции сторон Конвенции о биологическом разнообразии (CBD). Основная цель программы – выявить на основе единых критериев и сберечь как систему с использованием территориального подхода наиболее ценные для сохранения растительного мира объекты. IPA выделяются с использованием трех критериев: А (виды, находящиеся под угрозой), В (видовое богатство) и С (местообитания, находящиеся под угрозой) [11;12].

Согласно критерию А, IPA объявляются территории, на которых произрастает 5% и более общей численности особей вида в стране или 5 наилучших участков, где представлен данный вид. Для видов, отмеченных на 20–100 участках, выбираются до 10 наилучших участков. С использованием критерия А IPA рекомендуется выделять в первую очередь для видов, распространенных неравномерно и образующих в пределах страны небольшое количество относительно плотных популяций [13]. При этом следует принимать во внимание степень угрозы для вида и необходимость охранных мер; для IPA следует выбирать только жизнеспособные популяции или такие, жизнеспособность которых может быть восстановлена в случае принятия мер по улучшению условий существования [11].

Очевидно, что в пределах Орхидного пояса Полесья идентификация IPA по критерию А возможна прежде всего на основе данных о популяциях *S. calceolus* – вида флоры Беларуси, имеющего первостепенное значение для выделения IPA. Перечисленным выше требованиям в полной мере удовлетворяют 2 объекта: Государственный биологический заказник «Луково», где сосредоточено около 12% от общей численности вида в Республике Беларусь, а также местный биологический заказник «Дивин–Великий Лес» и расположенная восточнее его группа островных агроландшафтных дендроучастков, совместно образующих потенциальный объект охраны «Днепробуг» (согласно третьей «Схеме...») и обеспечивающих поддержание около 30% национальной популяции вида. В обоих случаях на участках представлены популяции с довольно высокой относительной жизненностью, хотя агроландшафтные местообитания вида требуют незамедлительных дополнительных мер охраны. Площадь данных участков (соответственно 1,5 тыс. га и 3,1 тыс. га) не выходит за пределы средней площади IPA, наблюдаемой в Эстонии, Румынии, Словакии, Чехии и некоторых других странах.

Существуют веские основания предполагать, что двумя названными объектами не исчерпывается перечень территорий, соответствующих критерию А при выделении IPA в условиях Белорусского Полесья. Как известно [14], флористическая насыщенность ландшафта тем интенсивнее, чем выше неоднородность геохимического (эдафического) фона территории. Детальное изучение общих закономерностей дифференциации вещества в пределах гидрогенно-карбонатных ландшафтов позволило нам определить направленность поиска в Белорусском Полесье территорий-аналогов – потенциальных биоцентров флоры с участием видов, важных для идентификации IPA. Ориентиры поиска в первую очередь связаны с установлением общей структуры миграционных потоков вещества в системах «болотный массив – низкий водораздел». В большинстве случаев они могут быть установлены по результатам анализа топографических карт и материалов дистанционных съемок. В рассматриваемых нами системах траектории миграционных потоков веществ определяются, исходя из устоявшегося в геохимии ландшафта положения: в болотных ландшафтах латеральная



миграция веществ связана с общим наклоном поверхности [15] и может быть выявлена по направлению водного потока местных рек.

Применение подобных подходов позволило выделить 4 перспективных полигона исследований, которые с высокой долей вероятности могут репрезентировать повышенные уровни биотопического и флористического разнообразия и претендовать на статус ИРА, – Споровский (Березовский район), Тышковичский (Ивановский район), Заясельдинский (Пинский район) и Выгонощанский (Ивацевичский район).

Таким образом, в южной полосе подзоны хвойно-широколиственных лесов (грабовых дубрав) в границах Малоритской равнины и Средне-Припятской низины система созданных и перспективных особо охраняемых природных территорий, названная нами Орхидным поясом Полесья, обеспечивает поддержание особо ценных комплексов редких видов растений и фитоценологических объектов. В пределах «Орхидного пояса» типично зональные сообщества дополняются флористическими комплексами и фитоценологическими раритетами, имеющими почвенно-геохимическую обусловленность (карбонатные варианты). В границах «Орхидного пояса» отмечается 34 вида из охранных категорий Красной книги Республики Беларусь и 27 видов из списка растений, нуждающихся в профилактической охране, соответственно 8 и 5 из которых относятся к семейству Orchidaceae. Наиболее репрезентативные сегменты «Орхидного пояса» Белорусского Полесья – биологические заказники «Луково» (Малоритский район) и «Дивин – Великий Лес» в комплексе с островными агроландшафтными дендрочастьками (Кобринский район) предлагается рассматривать с точки зрения их соответствия критериям ИРА. Кроме того, применение метода геосистемных аналогов позволяет прогнозировать наличие в Белорусском Полесье целого ряда территорий, удовлетворяющих критериям ИРА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юргенсон, Н.А. Особо охраняемые природные территории Республики Беларусь: современное состояние, проблемы, перспективы / Н.А. Юргенсон // Особо охраняемые природные территории. Исследования. Выпуск 1. – Минск : Белорусский Дом печати, 2006. – С. 33–56.
2. Парфенов, В.И. Теоретические принципы организации сети охраняемых природных территорий Белоруссии / В.И. Парфенов, Г.Ф. Рыковский, Г.В. Вынаев // Весці АН БССР. Сер. біял. навук, 1982. – № 6. – С. 6–14.
3. Council of Europe. The Pan-European biological and landscape diversity strategy // Council of Europe. Strasbourg, 1996.
4. Воронов, А.Г. Биогеография мира / А.Г. Воронов, Н.Н. Дроздов, Е.Г. Мяло – М., 1985. – С. 52–55.
5. Дзямянчык, В.Т. Праблемы вывучэння, захавання і выкарыстання трансгранічных экасістэм Палескай нізіны / В.Т. Дзямянчык // Прыроднае асяроддзе Палесся – сучасны стан і яго змены : тэз. дакл. міжнар. навук. канф. – Брэст, 2002. – С. 68–74.
6. Михальчук, Н.В. Депрессионно-карбонатные комплексы Белорусского Полесья / Н.В. Михальчук // Вучоныя запіскі Брэсцк. дзярж. ун-та, 2008, Т. 4, Ч. 2. – С. 108–119.
7. Мееровский, А.С. Дерновые заболоченные почвы Белорусского Полесья / А.С. Мееровский, Г.С. Король // Проблемы Полесья. Вып. 13. – Минск : Наука и техника, 1990. – С. 123–128.
8. Собко, В.Г. Орхідеї України / В.Г. Собко. – Київ, 1989. – 192 с.
9. Красная книга Республики Беларусь : Редкие и находящиеся под угрозой ис-



чезновения виды дикорастущих растений / Гл. редкол.: Л.И. Хоружик (предс.) [и др.] – Минск, 2005. – С. 227–259.

10. Міхальчук, М.В. Канцэпцыя Архіднага пояса Беларускага Палесся / М.В. Міхальчук // Экалагічна-эканамічныя праблемы развіцця рэгіёна Беларускага Палесся : матэрыялы Міжнароднага навучна-практ. канф., Пінск 13–15 мая 2003 г. – Минск : БГЭУ, 2004. – С. 280–283.

11. Андерсон, Ш. Идентификация ключевых ботанических территорий : руководство по выбору участков в Европе и основа развития этих правил для всего мира. – М. : Изд-во Представительства Всемирного Союза Охраны Природы (IUCN) для России и Стран СНГ, 2003. – 39 с.

12. Масловский, О.М. Проект ключевые ботанические территории Беларуси / О.М. Масловский, Е.Н. Ярошевич, Г.А. Пронькина // Минск, 2003. – 16 с.

13. Андриенко, Т.Л. Международная программа «Важные ботанические территории» (ИПА) и перспективы ее развития в Украине / Т.Л. Андриенко, В.А. Онищенко // Укр. ботан. журн. – 2007. – Т. 64. – № 1. – С.140–145.

14. Міхальчук, Н.В. Параметры парциальных флор гидрогенно-карбонатных ландшафтов Полесья в естественных и антропогенно-модифицированных условиях / Н.В. Міхальчук, О.А. Галуц, И.В. Ковалев // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2010. – №2. – С. 95–104.

15. Орлов, Т.В. Принципы определения пространственной структуры информационно-измерительной сети в системах комплексного геоэкологического мониторинга / Т.В. Орлов // Геоэкология. – 2008. – № 2. – С. 183–191.

N.V. Mikhalchuk. Orchid Belt of Polesie and Identification of Important Plant Areas

The article describes the concept of the «Orchid belt» of Belarusian Polesie. It is shown that the system of created, planned and perspective especially protected natural areas in the belt of hornbeam-oak forests of Malorita plain and Middle-Pripiat lowland secures the conservation of especially valuable complexes of rare plant species and phytocoenotical objects. On the territory of the «Orchid belt» there are registered 34 species of plants listed in the Red Data Book of the Republic of Belarus, 8 of which belong to the *Orchidiaceae* Juss. family. The most representative segments of the «Orchid belt» of Belarusian Polesie should be considered for compliance with the criteria of IPA's (important plant area).

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 10.09.10



УДК 314

К.К. Красовский, А.А. Сидорович

ОСОБЕННОСТИ ГЕОДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

В статье дается анализ основных факторов, влияющих на демографическую ситуацию в регионе, – естественное движение и миграция населения; определяются основные тенденции демографического развития; производится анализ географических особенностей демографических процессов в Брестской области в начале XXI столетия.

Современная демографическая ситуация в области характеризуется преобладанием неблагоприятных тенденций, имеющих различия в территориальном разрезе. В целом в Брестской области наблюдается естественная убыль населения, миграционный отток, абсолютное уменьшение и относительное сокращение доли детей в общей структуре населения, превышение количества женщин над количеством мужчин.

Естественная убыль и миграционный отток обуславливают сокращение численности населения. В Брестской области процессы депопуляции впервые были зафиксированы в 1994 году. Однако в то время они затрагивали лишь сельскую местность. В 1998 г. демографический процесс депопуляции охватил и городские поселения.

Одна из особенностей демографической ситуации в Брестской области – более низкие темпы сокращения численности населения, чем в других областях. За период 2000–2009 гг. среднегодовой темп убыли населения в области составил $-0,4\%$. Аналогичный показатель за этот же период для других областей варьировал от $-0,6\%$ в Гомельской области до $-0,9\%$ в Витебской. Лишь в г. Минске наблюдался рост численности населения (рисунок 1).

Более низкий темп сокращения численности населения в Брестской области объясняется тем, что для региона характерны один из самых высоких в республике коэффициентов рождаемости (в среднем за 2003–2008 гг. – $10,8\%$ против $9,9\%$ по республике в целом) и один из самых низких коэффициентов смертности ($13,6\%$ и $14,2\%$ соответственно).

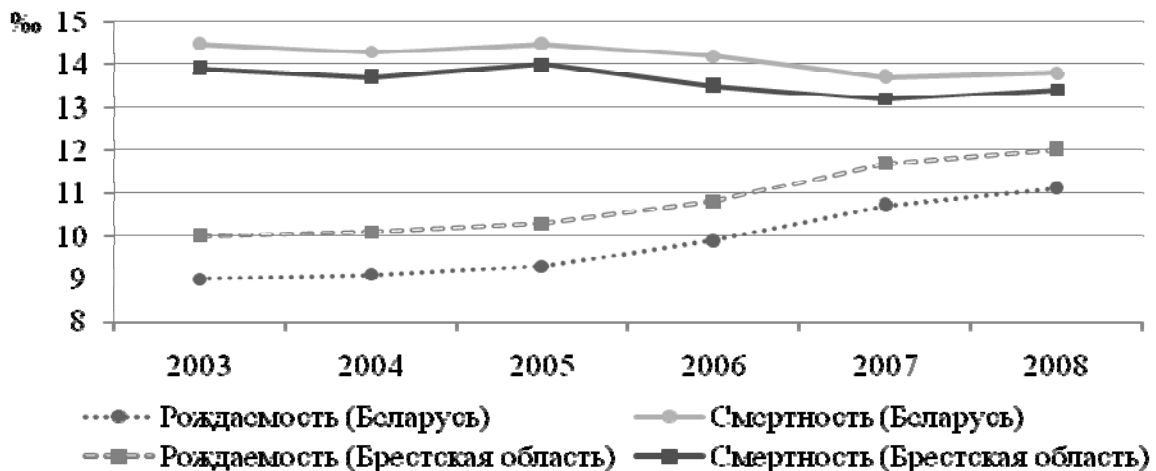


Рисунок 1 – Показатели рождаемости и смертности населения Брестской области и Беларуси в 2003–2008 гг.



На Брестскую область за 2003–2008 гг. пришлось 16,3% всех родившихся (около 94 тысяч) в стране, что в среднем составляет 15,7 тыс. чел. ежегодно. Лучшие показатели лишь у г. Минска (18,4%, 106 тыс. и 17,7 тыс. чел. соответственно). Отметим, что еще в 1990-х гг. и в самом начале XXI ст. число рождений в Брестской области превышало аналогичный показатель для других областей и г. Минска. Так, в 2000 г. на Брестчине число родившихся составило 15 923 против 15 358 в столице, а в 1995 г. разница была еще более значительна – 1 775 (16 896 и 15 121 соответственно).

Однако относительно высокие показатели рождаемости не могут компенсировать еще более высокие показатели смертности, что и определяет естественную убыль населения. За последние 10 лет коэффициент смертности находился в пределах 13,2–14‰, в 1995 г. он составлял 12,7‰.

Первостепенное значение в уменьшении смертности играет раннее выявление и лечение болезней органов системы кровообращения (рисунок 2). Коэффициенты смертности по причинам болезней сердечно-сосудистой системы составляют порядка 7–8‰. Еще 1,7–1,9‰ приходится на причины, связанные с новообразованиями; 1,3–1,4‰ смертей связано с несчастными случаями, отравлениями и травмами.

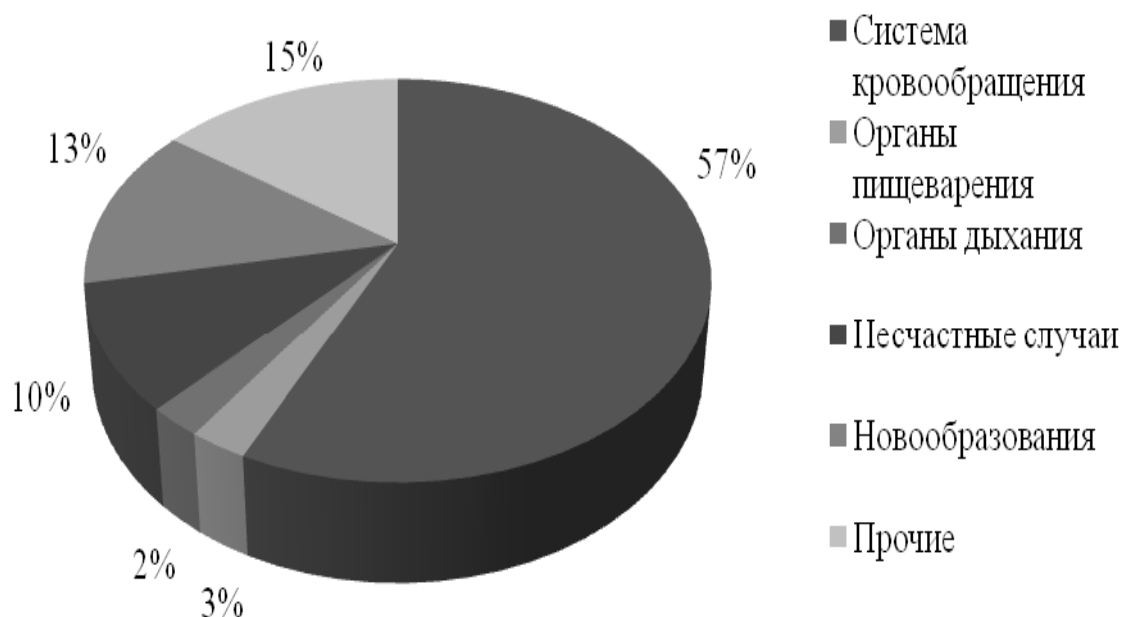


Рисунок 2 – Структура причин смерти по основным классам

В целом для городов характерен естественный прирост, составляющий около 1,5‰; для сельской местности – естественная убыль на уровне 10‰ в год. Такие диспропорции обусловлены тем, что на фоне схожих показателей рождаемости коэффициент смертности в сельских поселениях в 2 раза превышает аналогичный показатель для городских поселений, превышая отметку в 20‰.

Помимо естественной убыли на темпы сокращения численности населения значительно влияет отрицательное миграционное сальдо. Миграционный отток населения за 2003–2008 гг. составил 13 287 чел. или –2 215 чел. в год, что по численности населе-



ния сопоставимо с населением г. Коссово. Миграционные процессы в Брестской области представлены несколькими направлениями:

1. Внутриобластная миграция. Она прямо не влияет на изменение численности населения в области и представлена в первую очередь переселением сельских жителей в города. Ежегодно место жительства в пределах области меняют 20–25 тыс. человек.

2. Межобластная миграция. Ежегодно в миграционный оборот Брестской области с другими регионами страны вовлекаются 18–22 тыс. человек. При этом число прибывших уступает числу выбывших. Между тем за анализируемый период наблюдается устойчивая тенденция уменьшения отрицательного сальдо межобластной миграции. Если в 2003 г. сальдо достигало –3613 человек, то за 2008 г. оно составило –872 человека.

Основной миграционный обмен Брестской области осуществляется с г. Минском, Минской и Гродненской областями, на которые за 2003–2008 гг. пришлось 76% всего миграционного оборота (рисунок 3). За 2003–2008 гг. положительное миграционное сальдо сложилось лишь с Гродненской и Могилевской областями – 747 и 473 человек соответственно. Наибольшее отрицательное сальдо сложилось с Минском: за этот период оно составило 15 375 человек в пользу столицы. При этом на Минск приходится около 2/5 всего миграционного оборота области и около половины всех выбывших.

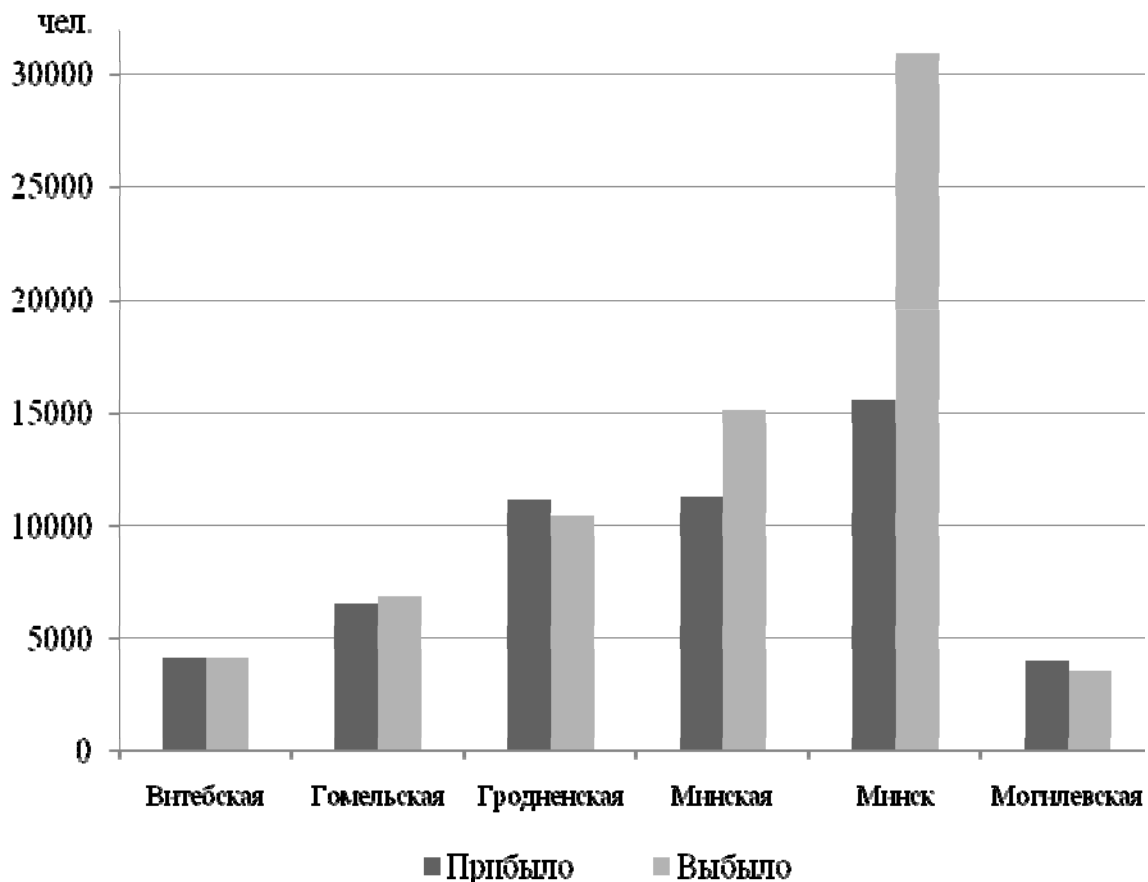
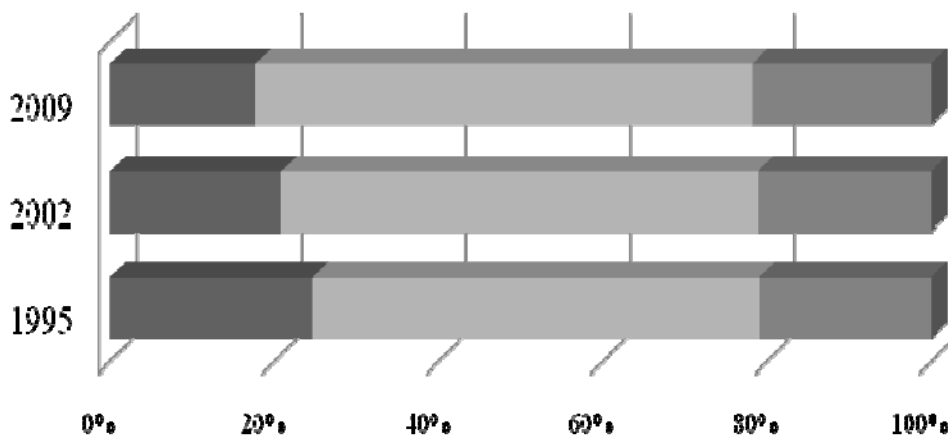


Рисунок 3 – Миграция населения между Брестской областью и другими областями и г. Минском (2003–2008 гг.)



3. Международная миграция. В 2003–2008 гг. фиксировалось положительное сальдо международной миграции. За этот период прибыло на 4 970 человек больше, чем выбыло. На сегодняшний день основной миграционный оборот области приходится на страны СНГ и в первую очередь на Россию, Украину и Казахстан – 80%. За 2003–2008 гг. количество мигрантов из этих стран составило 6 494, 3 880 и 1 095 человек соответственно. В 2008 г. наилучшие показатели миграционного сальдо сложились с Украиной (+418 человек), Россией (+240), Казахстаном (+113), Молдовой (+41) и Латвией (+36).

К числу серьезных демографических проблем относятся диспропорции в возрастной структуре населения. Неуклонно сокращается доля лиц моложе трудоспособного возраста (рисунок 4). К 2009 г. доля лиц моложе 16 лет, начиная с 1995 г., уменьшилась на 6,9 процентных пункта и составила 17,4%. Однако в последние годы наметилась положительная тенденция к замедлению темпов сокращения численности детей. За 1995–2002 гг. среднегодовая убыль составила 9,1 тыс. человек, за 2003–2008 гг. – 7,1 тыс. человек. В целом для Беларуси доля детей уменьшилась с 23,5% в 1995 г. до 15,8% в 2008 г.



Из общей численности населения в возрасте:

■ Моложе трудоспособного ■ Трудоспособного ■ Старше трудоспособного

Рисунок 4 – Распределение населения Брестской области по основным возрастным группам (1995, 2002, 2009 гг.)

В то же время доля лиц трудоспособного и старше трудоспособного возраста имеет тенденцию к увеличению. Их доля за 1995–2009 гг. выросла на 6% и 1% соответственно.

В распределении населения по полу в области ситуация также выглядит лучше, чем в целом по республике. В 2008 г. на 1 000 мужчин приходилась 1 125 женщин, в 2002 г. – 1 117. По стране эти показатели составляли 1 143 и 1 132 соответственно.

Одним из основных интегральных показателей, характеризующих состояние здоровья населения данного региона, качество его жизни, уровень медицинского обслуживания, является ожидаемая продолжительность жизни населения.

Значение показателей продолжительности жизни в Брестской области выше, чем в целом по стране как для женского, так и для мужского населения. Так, за 2003–2008 гг. средняя продолжительность жизни населения в Беларуси составила 69,4 года, в



Брестской области 70 лет. На Брестчине продолжительность жизни женского населения составила 76 лет, мужского – 64,3 года, разница в продолжительности жизни между полами достигла 11,7 года. В целом для Беларуси аналогичные показатели составляли 75,5 для женщин и 63,6 года для мужчин, разница – 11,9 года.

Брестская область по-прежнему остается наименее урбанизированным регионом страны. По состоянию на 1 января 2009 г. в городских поселениях области проживало 65,3% всего населения. В целом по стране коэффициент урбанизации составляет 73,9%. По регионам она варьирует от 68,9% в Гродненской области до 75,5% в Могилевской и 80,2% в Минской (вместе с Минском) областях.

Важное значение при анализе общей демографической ситуации в области имеет анализ демографических процессов на более низком уровне, т.е. на уровне административных районов и приравненных к ним городов областного подчинения.

К городам областного подчинения относятся 3 больших города области – Барановичи, Брест, Пинск. В них концентрируется 43,1% населения области (на начало 2009 г.). Причем тенденция такова, что эта доля постоянно возрастает. В ближайшие десять лет ежегодно численность населения в этих городах будет возрастать на 2 400–2 600 человек.

За период 1999–2008 гг. из всех городских поселений только г. Брест имел устойчивую тенденцию увеличения людности (рисунок 5). В среднем численность брестчан возрастала на 0,71% в год. Для г. Барановичи темп роста составляет 0,06%, для г. Пинска – 0,04%. В целом за этот период количество жителей в областном центре возросло на 9,92% (причем 3,3% обеспечило территориальное расширение города путем вхождения в июне 2007 г. в городскую черту 10 пригородных деревень), в г. Барановичи и г. Пинск эти показатели значительно ниже – 0,54% и 0,38% соответственно. Такой рост людности областного центра во многом обусловлен миграционным притоком: положительное сальдо миграции обеспечивает значительную часть прироста населения (порядка 900–2000 ежегодно). Для г. Пинска миграция – неблагоприятный демографический фактор. За период 2003–2008 гг. город покинуло на 779 человек больше, чем прибыло. При этом демографическое развитие Пинска отличается высокими показателями естественного прироста, которые находятся на уровне 0,9–3,7‰ в год. Поэтому условие, при котором количество прибывших хотя бы будет равняться количеству выбывших, дает возможность прогнозировать рост численность населения города на 150–300 человек ежегодно.

Кардинально изменилась в последние годы ситуация в г. Барановичи. Если с 2000 г. отмечалась естественная убыль населения на уровне 1,4–1,8‰, то с 2007 г. она сменилась небольшим естественным приростом – 0,3‰. Как и г. Брест, Пинск и Барановичи характеризуются наименьшими показателями смертности – 8,7‰, 9,4‰ и 11,5‰ соответственно. По области этот показатель равен 13,7‰.

При сохранении сложившихся тенденций можно прогнозировать рост людности г. Бреста на 0,5–0,7% в год, в Барановичах и Пинске количество жителей будет расти очень медленными темпами – порядка сотых долей процента (таблица 1).

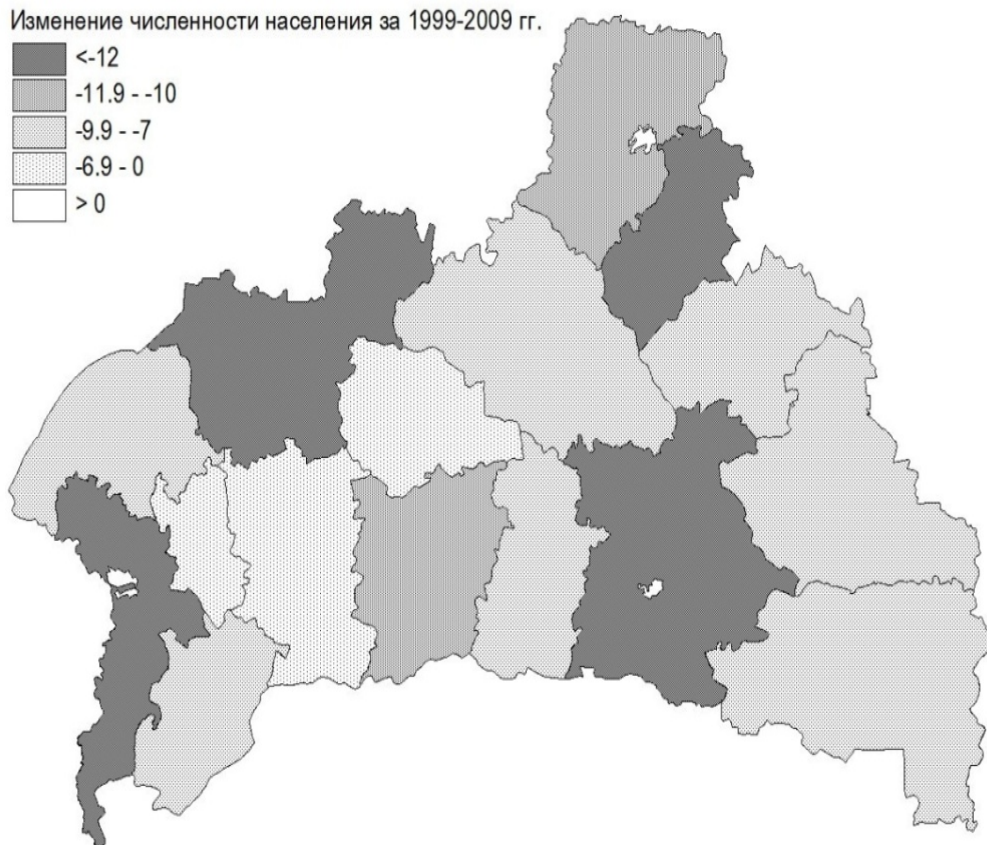


Рисунок 5 – Изменение численности населения по административным районам Брестской области (в % за 1999–2009 гг.)

Совершенно иная демографическая ситуация складывается в 16 административных районах. Начиная с 1999 г., когда состоялась первая в истории суверенной Беларуси перепись населения, ни в одном из районов не было зафиксировано расширенного воспроизводства населения. Естественная убыль варьировала в пределах от 1,6‰ в Столинском районе до 12,9‰ в Барановичском.

За 1999–2008 гг. более чем на 10% численность населения сократилась в Ляховичском, Пружанском, Пинском районах. Наименьшие потери в демографическом плане понесли Жабинковский (2,7%), Брестский и Кобринский районы – по 4%.

Осложняет и без того трудное демографическое положение стабильный миграционный отток: в целом за счет миграции районы теряют около 2 800 человек в год. Одна часть этого потока направляется в областной центр и другие населенные пункты области, другая – за пределы области и страны в целом. В этом ряду выделяются Жабинковский, Брестский и Барановичский районы: за 2003–2008 гг. число прибывших превысило число выбывших в них на 507, 451 и 308 человек соответственно. Положительное миграционное сальдо смягчает последствия естественной убыли населения, однако не в состоянии его компенсировать. За этот период численность населения сократилась на 400 человек в Жабинковском и на 3 200 человек в Барановичском районах.



Таблица 1 – Прогноз численности населения Брестской области и административных районов на 2015, 2020 и 2025 гг. (тыс. человек; расчеты произведены на основе трендов за 1999–2008 гг.)

	2015	2020	2025
Область	1 397,4	1 371,0	1 345,2
Брест	331,0	343,1	355,6
Барановичи	169,0	169,5	170,0
Пинск	130,8	131,1	131,3
Барановичский	40,7	38,3	36,0
Березовский	65,5	63,1	60,7
Брестский	33,8	33,1	32,3
Ганцевичский	31,1	29,6	28,1
Дрогичинский	42,7	40,4	38,2
Жабинковский	24,6	24,2	23,8
Ивановский	43,9	42,0	40,1
Ивацевичский	59,3	56,3	53,4
Каменецкий	37,2	35,3	33,6
Кобринский	85,6	83,7	81,8
Лунинецкий	71,3	68,7	66,1
Ляховичский	28,7	26,6	24,5
Малоритский	24,6	23,4	22,2
Пинский	50,5	47,3	44,3
Пружанский	52,1	48,7	45,6
Столинский	79,1	76,3	73,5

В ряде районов миграционный отток обуславливает значительное сокращение численности населения. Так, в Ганцевичском районе за 2003–2008 гг. он обусловил 56% суммарных потерь населения, в Березовском – 61%, в Лунинецком 76%, в Столинском районе – 82%. В остальных районах с отрицательным миграционным сальдо этот показатель составил от 26% в Пинском до 49% в Ивановском районе.

Сокращение численности населения в значительной степени определяется высокими показателями смертности. Во всех 16 районах области общий коэффициент смертности превышает 13,5‰, а в Пинском и Барановичском превышает отметку в 20‰. До 20‰ достигает смертность в Ляховичском районе. Наименьшими показателями характеризуются Лунинецкий, Березовский и Кобринский районы, где данный показатель составляет 13,5‰, 13,8‰ и 14,1‰ соответственно (в среднем за 2003–2008 гг.).

На фоне высоких значений показателей смертности даже самые высокие показатели рождаемости не способны восполнить естественную убыль. Например, зафиксированная в 2008 г. в Брестском районе рождаемость на уровне 15,6‰ (при максимальной за 2003–2008 гг. среди районов в 13,3‰) смогла лишь уменьшить убыль до 0,5‰. Тем не менее по итогам 2008 г. Брестский район наряду с Минским оказались единственными, территориальными единицами в которых наблюдался естественный прирост сельского населения. В Брестском районе наиболее сложная ситуация сложилась в г.п. Домачево, численность населения в котором за 1999–2009 гг. уменьшилась на 15%.



В ряде районов показатели рождаемости не превышают даже 10%. К таким районам относятся Пинский (9,9‰), Ивацевичский (9,3‰), Ляховичский (8,9‰) и Пружанский (8,6‰).

Таким образом, демографическая ситуация в Брестской области в начале XXI века характеризуется следующими особенностями:

1. Снижение численности населения обусловлено естественной убылью сельского населения.

2. Сложная демографическая ситуация в сельской местности, определяемая естественными процессами, усугубляется миграционным оттоком населения.

3. Рост демографической нагрузки на трудоспособное население в связи с увеличением числа лиц пенсионного возраста.

4. Наметилась тенденция увеличения ожидаемой продолжительности жизни, причем для женского населения она носит более устойчивый характер.

5. На фоне депопуляционных процессов в области достаточно благополучно выглядит ситуация в городах областного подчинения.

Демографическая политика и на областном, и на районном уровне должна быть направлена не только на увеличение рождаемости, но и на значительное снижение смертности. Если удастся сократить показатели смертности по трем основным классам причин, дающим в сумме 10–11,3‰, хотя бы в два раза, то средние показатели смертности сравняются со средними показателями рождаемости. В результате демографическая ситуация как минимум стабилизируется. В более оптимистичном случае будет наблюдаться рост численности населения.

К.К. Krasovskii, A.A. Sidorovich. The Features of Geodemographic Processes in Brest Region at the Beginning of the XXI Century

The article gives the main factors influencing the demographic situation in the region – the natural movement and migration of population, determines the main trends of demographic development, the analysis of geographical features of the demographic processes in Brest region at the beginning of the XXI century.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 08.09.10



УДК 331.5.024.54:338.43(476.5)+332.1(476.5)

И.В. Пилецкий

ЖИВОТНОВОДСТВО БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ: ОСОБЕННОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В КОНЦЕ XX – XXI ВЕКА

Выявлены тенденции развития животноводства и определены его место и роль в управлении системой сельскохозяйственного производства Белорусского Поозерья. Уточнены основные направления развития животноводческой отрасли в регионе.

Введение

Стратегическим направлением в развитии Беларуси в настоящее время считается эффективное формирование системы сельскохозяйственного производства на основе территорий, наиболее полно отвечающих современным требованиям и задачам государства. Основным структурообразующим элементом формирования системы сельскохозяйственного производства Белорусского Поозерья является животноводство. Значение его определяется не только высокой долей в валовой продукции, но и большим влиянием на экологическое состояние любого региона. В животноводческой отрасли задействовано более половины трудовых ресурсов региона и основных производственных фондов и, соответственно, затраты составляют более 50% от всех затрат на материальное производство [1]. Следовательно, эффективность управления системой сельскохозяйственного производства в значительной степени будет определяться состоянием и развитием приоритетных направлений животноводческой отрасли, т.е. динамикой поголовья сельскохозяйственных животных – овец, коз, лошадей, птицы, крупного рогатого скота.

Под термином «управление системой» следует понимать хозяйственную деятельность на основе установленных природно-антропогенных закономерностей, способную при достигнутом уровне развития производительных сил производить в необходимых объемах продукты питания и сырье для перерабатывающей промышленности с тенденцией минимизации ее отрицательного воздействия на сложившиеся ландшафты конкретного региона. Такой подход к пониманию проблемы управления предполагает ряд важных условий: производство возможного объема сельскохозяйственной продукции для сложившихся экономических условий, соблюдение паритета природоохранного и сельскохозяйственного землепользования, учет социально-экономических аспектов конкретного региона [2; 3]. Это означает, что модель организации общества даже для весьма ограниченной территории должна учитывать большое количество как экономических, так и природно-климатических факторов, которые воздействуют как отдельно, так и совместно. К сожалению, пока не разработаны такие модели, которые бы позволяли количественно учитывать выраженные связи между указанными факторами.

Цель работы – установить тенденции развития животноводства и определить его место и роль в управлении формированием системы сельскохозяйственного производства Белорусского Поозерья.

Материалы и методика исследований

Для изучения роли животноводства в управлении формированием системы сельскохозяйственного производства Белорусского Поозерья использовались статистиче-



ские и картографические материалы, данные экспедиционных ландшафтных исследований, обобщения исследований других авторов с применением методов сравнительно-описательного ряда.

Результаты исследований и их обсуждение

Снижение численности поголовья овец и коз в сельскохозяйственных организациях Белорусского Поозерья началось в 1960-х годах, но с конца 1980-х годов этот процесс стал уже необратимым [4]. Анализ статистических материалов региона показал, что если разведением этих видов животных в регионе в прошлом столетии занималось большинство хозяйств, то с начала XXI века ни одно из них овцеводством не занимается [5]. Не занимаются овцеводством и фермеры. Баранина производится исключительно на частных подворьях. Основные причины такого состояния – необходимость тщательного ухода за животными, высокая себестоимость и низкая рентабельность производимой продукции. Ситуация усугубляется еще и отсутствием ведения какой-либо селекционной работы в этом направлении не только в регионе, но и в республике в целом.

В 60–70-е годы XX в. поголовье лошадей было сосредоточено преимущественно в сельскохозяйственных предприятиях региона, и оно поступательно снижалось. Происходило это по причине насыщения сельскохозяйственных предприятий в этот период сельскохозяйственной техникой. В последующие 80-е годы численность лошадей в сельскохозяйственных предприятиях Белорусского Поозерья оставалась почти неизменной, хотя энерговооруженность хозяйств заметно росла. Дальнейшее снижение их численности началось в 1990-х годах, что стало следствием начавшейся ломкой существующих экономических отношений. С этого же времени происходит незначительный рост поголовья лошадей в личных подсобных и фермерских хозяйствах [4; 5]. Детальное исследование отмеченной динамики показало, что в силу природно-климатических условий и существующей сельскохозяйственной специализации количественные показатели поголовья лошадей конца 1980-х годов являются наиболее оптимальными для хозяйствующих субъектов региона.

Начало 70-х годов прошлого века ознаменовалось поступательным ростом численности птицы в сельскохозяйственных предприятиях при практически неизменной численности птицы в личных хозяйствах. С 1992 г. по 1996 г. произошло снижение ее поголовья как в сельскохозяйственных предприятиях, так и в личных хозяйствах. Такую синхронность падения численности птицы можно объяснить лишь тем, что в личных хозяйствах определенная ее часть содержалась благодаря сельхозпредприятиям. Только к 2005 году этот процесс стабилизировался [6], что объясняется экономической целесообразностью и сформировавшимися потребностями внутреннего и внешнего рынков. В настоящее время птицеводство сконцентрировано преимущественно на крупных специализированных птицефабриках в отдельных районах.

Главенствующее положение в животноводстве Белорусского Поозерья занимает скотоводство, на которое приходится все производство молока и 60% мяса. Свинина в валовом производстве мяса занимает до 32% и около 8% – мясо птицы и баранина. В производстве кормов для скота задействуется почти 75% сельскохозяйственных земель.

В условиях Белорусского Поозерья численность поголовья скота определяется достигнутой продуктивностью кормовых культур, т.е. кормовой базой [7]. Кризисные явления в экономике Беларуси, начавшиеся с развалом СССР, привели к резкому снижению производства и продуктивности растениеводства и, как следствие, к резкому снижению численности поголовья животных [8; 9]. При этом снижение численности



крупного рогатого скота происходило пропорционально как в сельскохозяйственных организациях, так и в крестьянских и фермерских хозяйствах. Если в начале 1960-х годов численность скота в сельскохозяйственных организациях составляла 60% от общей численности крупного рогатого скота, то в конце 1980-х годов она достигла 94%. Это объясняется тем, что в этот период были введены в эксплуатацию крупные специализированные животноводческие комплексы. Обеспечение их кормами в изменившихся условиях межгосударственных отношений потребовало мобилизации всех внутренних ресурсов вследствие прекращения поставок концентрированных кормов из-за пределов республики. Численность крупного рогатого скота в личных хозяйствах относительно их общего количества начала поступательно снижаться со второй половины XX века. Если в начале 1960-х годов она составляла 39%, то в 2000 году – 15%.

Аналогичным образом тенденция проявилась и в Белорусском Поозерье [5; 6]. Незначительное снижение численности поголовья коров объясняется жестким государственным регулированием. Однако стремление поддержать численность поголовья в 1990-х годах при снижающейся обеспеченности скота кормами (не более 80%) и падении качества заготавливаемых кормов из-за постоянно ухудшающегося ресурсного обеспечения хозяйств обернулось резким снижением продуктивности животных и увеличением расхода кормов на единицу производимой продукции. Если в 1990 г. в регионе расход кормов на 1 центнер привеса КРС составлял 13,49 ц.к.е., то в 1995 г. – 18,57 ц.к.е.

Крайне неэффективному использованию кормов, большому перерасходу их на единицу производимой животноводческой продукции способствовали объективные и субъективные причины: снижение объемов производства продукции растениеводства, резкие колебания этих объемов по отдельным годам, отсутствие страховых запасов кормов, крайне ограниченные возможности приобретения кормов за пределами республики, недопущение снижения поголовья животных [10]. Больше всего пострадали комплексы, которые обеспечивались комбикормами из централизованных союзных фондов. В хозяйствах Ушачско-Лепельской возвышенности, например, в 1994 году на комплексе по откорму 24 тыс. голов свиней имелось только маточное поголовье, а в хозяйствах Чашникской равнины (колхоз «Гигант») из 39 тыс. уток – менее 2 тыс. И это при том, что комплексы играли ведущую роль в производстве мяса и молока [10].

В конце 1980-х годов удельный вес закупленного в личных подсобных хозяйствах молока составлял 20% от общего объема производства в регионе. В целом на душу населения производилось 129 кг мяса в убойном весе и 727 кг молока, что больше, чем в среднем по республике. В 1990 году на свиноводческих комплексах региона было сосредоточено 62% поголовья свиней и получено 74% привеса свиней на откорме [11]. За 1990 г. валовой надой молока в регионе вырос по сравнению с 1989 г. на 14 тыс. тонн. За это время удой на одну корову увеличился на 58 кг и достиг 3030 кг с колебаниями от 2741 кг в хозяйствах восточной части Чашникской равнины до 3321 кг в хозяйствах восточной части Свентяньских гряд.

Анализ статистических материалов показывает, что и тогда недостаточно полно использовался потенциал животных. Генетический потенциал молочной продуктивности на то время равнялся 3200–3500 кг, а привес скота на откорме 0,9–1,0 кг в сутки. Фактическая низкая продуктивность в 90-е годы XX века явилась следствием недостаточной обеспеченности животных кормами и их несбалансированностью. Во всем регионе обеспеченность кормами была ниже 100%. На одну кормовую единицу заготовленных кормов приходилось менее 100 г протеина [7]. А несбалансированность рациона по видам кормов оборачивается перерасходом их на единицу продукции.



Состояние и перспективы развития животноводства во многом предопределяют необходимость поиска новых научных подходов к управлению системой сельскохозяйственного производства региона. Непременным условием сохранения и повышения плодородия почв региона является внесение органических удобрений под сельскохозяйственные культуры. Снижение численности поголовья скота неизбежно приведет к снижению продуктивности сельскохозяйственных земель. По структуре и численности поголовья скота рассчитывается требуемое количество кормов и, соответственно, необходимая площадь земель для производства каждого вида корма. При существовавшей специализации сельскохозяйственного производства в Белорусском Поозерье на производство кормов задействовалось в среднем 70% всех сельскохозяйственных земель [5]. Специализацию сельскохозяйственного производства определяют природно-климатические и экономические факторы, в том числе и разделение труда в рамках государства [12].

В бывшем СССР система сельскохозяйственного производства Белорусское Поозерье преимущественно была сориентирована на производство мяса и молока. При этом структура посевов была такой, что позволяла в основном выдержать требования севооборотов исходя из почвенно-климатических условий региона и достигнутого уровня агротехники. Большая часть хозяйств региона входила в зону молочно-мясного скотоводства, свиноводства и интенсивного льноводства. Несколько отличались специализацией хозяйства северо-запада Витебской возвышенности, центральной части Полоцкой низины и Заборской равнины: хозяйства центральной части Полоцкой низины и Заборской равнины в животноводстве имели аналогичную специализацию, а в растениеводстве – льноводство; хозяйства северо-запада Витебской возвышенности входили в зону молочного скотоводства, свиноводства и птицеводства.

Проведенный анализ показывает, что существовавшая специализация сельскохозяйственного производства была оправдана и рациональна в условиях СССР при централизованном планировании и управлении сельскохозяйственным производством. Однако после распада СССР, спровоцировавшего экономический кризис и общий спад производства сельскохозяйственной продукции, радикальных, научно обоснованных изменений в специализации региона не произошло (таблицы 1; 2).

Ведущей отраслью в системе сельскохозяйственного производства и в настоящее время остается скотоводство, сочетающееся в преобладающей части хозяйств со свиноводством. В ряде хозяйств в качестве дополнительной отрасли развивается птицеводство. Можно с большой уверенностью утверждать, что в обозримой перспективе Белорусское Поозерье останется зоной мясомолочного производства (таблицы 1; 2). А так как исследования показали, что в отдельные годы от 60% до 80% всей продукции растениеводства идет на корм скоту и птице, то краеугольным камнем управления социально-экономическим развитием конкретной сельской территории должна стать интенсификация всего сельскохозяйственного производства.

Как отмечалось выше, разрушение кооперативных связей в начале 1990-х годов обернулось кризисом отрасли, резким сокращением производства продукции растениеводства и кормовой базы для животных. Начали резко снижаться не только продуктивность сельскохозяйственных животных, но и площади интенсивно используемых сельскохозяйственных земель.

Исследования показывают, что только за период 1990–2005 годов площади земель, используемых сельскохозяйственными организациями региона, снизились на 27% (в Беларуси 16%), пахотных – соответственно на 40% и 21%. За это время изменилась и структура производства продукции сельского хозяйства. Если в 1990 г. продукция рас-



тениеводства в сопоставимых ценах составляла 37%, то в 2005 г. – 58%, а продукция животноводства соответственно 63% и 43%. В наибольшей степени пострадало (снижение с 19,8% до 6,2%) производство мяса крупного рогатого скота.

Таблица 1 – Динамика реализации скота и птицы на убой сельскохозяйственными организациями Белорусского Поозерья (на 100 га сельскохозяйственных земель)

Региональные группы сельскохозяйственных производителей	Реализовано скота и птицы в живом весе, центнеров						
	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
север Чашникской равнины	149	62	46	96	87	98	157
Браславские гряды	137	66	55	67	68	79	78
северо-запад Полоцкой низины	128	51	35	69	73	73	80
северо-запад Витебской возвышенности	202	154	145	242	265	281	307
восток Свентянских гряд	190	85	37	58	63	71	77
Городокская возвышенность	171	64	93	126	127	121	140
северо-запад Горецкой равнины	100	62	65	62	60	72	75
Лепельская возвышенность	155	52	46	49	46	92	101
юг Витебской возвышенности	146	49	28	44	30	44	45
запад Полоцкой низины	143	67	38	65	64	70	76
север Оршанской возвышенности	234	157	174	186	194	189	192
центр Полоцкой низины	156	62	40	67	61	61	73
север Свентянских гряд	139	76	56	64	68	74	74
Заборская равнина	122	39	22	33	31	38	39
восток Чашникской равнины	121	55	46	67	68	86	92
Ушачская возвышенность	163	65	46	90	83	82	99
юго-запад Чашникской равнины	148	58	52	71	78	83	87
север Дисненской низины	143	72	47	82	79	78	95
Шумилинская равнина	194	86	34	166	167	188	178
Белорусское Поозерье	158	78	65	94	95	102	111



Таблица 2 – Динамика производства молока сельскохозяйственными организациями Белорусского Поозерья (на 100 га сельскохозяйственных земель)

Региональные группы сельскохозяйственных производителей	Произведено молока, центнеров						
	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
север Чашникской равнины	532	391	298	344	344	346	428
Браславские гряды	482	293	312	402	431	439	503
северо-запад Полоцкой низины	530	314	349	581	612	641	716
северо-запад Витебской возвышенности	687	415	378	501	508	546	597
восток Свентянских гряд	659	491	439	628	652	677	768
Городокская возвышенность	417	160	169	310	336	322	357
северо-запад Горецкой равнины	423	273	252	384	438	400	434
Лепельская возвышенность	590	336	277	407	431	460	517
юг Витебской возвышенности	596	386	365	489	499	620	716
запад Полоцкой низины	567	378	358	512	522	539	583
север Оршанской возвышенности	641	352	363	438	435	458	516
центр Полоцкой низины	612	396	319	513	546	604	690
север Свентянских гряд	487	335	316	412	396	399	437
Заборская равнина	408	247	273	412	439	460	504
восток Чашникской равнины	450	292	270	407	401	407	440
Ушачская возвышенность	489	287	258	360	346	314	351
юго-запад Чашникской равнины	512	342	330	524	506	538	609
север Дисненской низины	491	373	396	478	478	495	542
Шумилинская равнина	516	343	295	479	457	471	531
Белорусское Поозерье	535	345	316	458	450	470	527

Заклучение

Таким образом, проведенные исследования позволяют нам сделать ряд важных выводов по развитию животноводства в регионе, учет которых позволит более эффективно осуществлять управление социально-экономическим развитием Белорусского Поозерья.

1. В бывшем СССР социально-экономическое развитие Белорусского Поозерья было ориентировано на мясомолочное производство; при этом структура посевов позволяла следовать требованиям севооборотов исходя из почвенно-климатических условий региона и достигнутого уровня агротехники.



2. Стремительное падение уровня развития растениеводства в 90-х годах XX века отрицательно сказалось на животноводстве: издержки планирования, слабая обеспеченность кормами животных, несбалансированность по питательным веществам и др. обусловили низкую их продуктивность, перерасход кормов и высокую себестоимость продукции.

3. Полученный богатый доперестроечный и последующий опыт использования в регионе крупных животноводческих комплексов, других объектов инфраструктуры, потенциальных возможностей интенсификации кормопроизводства позволил сделать важный вывод: основной объем животноводческой продукции должен производиться в регионе на таких комплексах. Реальная мощность животноводческих комплексов должна определяться исходя из имеющихся в каждом предприятии возможностей утилизации животноводческих стоков и требований экологической безопасности окружающей среды.

4. Обеспечение производства объемов сельскохозяйственной продукции для государственных нужд и внутреннего потребления с минимальными совокупными затратами требует совершенствования специализации производства на региональном, районном и ландшафтном уровнях в животноводстве и растениеводстве. Поскольку условием стабильного и эффективного производства (на уровне, близком к биологической продуктивности) является соответствующая по структуре и объему кормов стабильная кормовая база с определенным запасом прочности, то специализация и мощность животноводческой отрасли должна определяться возможностями растениеводства по созданию такой базы с учетом выполнения госзаказов по растениеводству.

5. Разнообразные кооперативные связи особенно важны для развития молочного и мясного скотоводства. В плане совершенствования специализации целесообразно максимально интенсифицировать молочное скотоводство в хозяйствах, расположенных вблизи молокозаводов, и благодаря этому географически сузить их сырьевые зоны.

6. Сельхозпредприятия «глубинки» целесообразно ориентировать на развитие мясного скотоводства с организацией заключительного откорма по возможности на специализированных комплексах. Первичную переработку (сепарирование) излишков молока (не задействованного на производственные нужды) такие предприятия (зоны) должны осуществлять на местах, без транспортировки на молокозавод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пилецкий, И.В. Сельскохозяйственное производство как фактор формирования культурных ландшафтов Белорусского Поозерья / И.В. Пилецкий // *Веснік ВДУ. Навук. часопіс.* – 2002. – № 2 (24). – С.133–142.

2. Пилецкий, И.В. Вопросы социально-экономического развития культурных ландшафтов Белорусского Поозерья / И.В. Пилецкий // *Адукацыя і выхаванне. Геаграфія: праблемы выкладання.* – 2005. – № 2 (39). – С. 9–11.

3. Пилецкий, И.В. Культурные ландшафты Белорусского Поозерья и их социально-демографические проблемы / И.В. Пилецкий // *Веснік ВДУ. Навук. часопіс.* – 2005. – № 1 (35). – С.123–129.

4. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник. / Мин-во стат. и анализа Респ. Беларусь. – Минск : 2001. – 315 с.

5. Витебская область в цифрах. Статистический сборник. / Статистическое управление Витебской области. – Витебск : 1997; 2000; 2009.



6. Витебская область в цифрах. Статистический сборник. / Статистическое управление Витебской области. – Витебск, 2006. – 74 с.
7. Пилецкий, И.В. Производство продукции растениеводства как фактор формирования культурных ландшафтов Белорусского Поозерья / И.В. Пилецкий // Ученые записки. Навук. часопіс. – Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова». – 2002. – Т.1. – С. 209–217.
8. Пилецкий, И.В. Проблемы реформирования агропромышленного комплекса Республики Беларусь / И.В. Пилецкий // Веснік ВДУ. Навук. часопіс. – 2003. – № 4 (30). – С. 54–60.
9. Пилецкий, И.В. Сравнительный анализ форм хозяйствования АПК Беларуси и России в новых экономических условиях / И.В. Пилецкий // Агроэкономика. Ежемесячный научно-производственный журнал. – 2003. – № 7. – С. 3–7.
10. Пилецкий, И.В. Агропромышленные комплексы Беларуси и России в новых экономических условиях хозяйствования /И.В. Пилецкий // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2003. – № 3. – С. 25–32
11. Регионы Республики Беларусь, 2009 : стат. сб. / Минстат Респ. Беларусь ; редкол. : В.И. Зиновский [и др.]. – Минск : УП Минстата «Главный вычислительный центр», 2009. – 879 с.
12. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2008 : стат. сб. – Минск : Мин-во статистики и анализа Респ. Беларусь, 2009. – 595 с.

I.V. Piletsky. Animal Industries in the Belarusian Poozeriya: Peculiarities and Tendencies of Development in the XX – XXI Centuries

The tendencies of development of animal industries are revealed and its place and role in the management of agricultural manufacture system of Belarusian Poozeriya is determined. The basic directions of development of cattle-breeding branch in the region are specified.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 02.10.10



ЗВЕСТКІ АБ АЎТАРАХ

Булавін Л.А. – доктар сельскагаспадарчых навук, вядучы навуковы супрацоўнік лабараторыі апрацоўкі глебы Навукова-практычнага цэнтра па земляробству НАН Беларусі

Булавіна Т.М. – доктар сельскагаспадарчых навук, вядучы навуковы супрацоўнік лабараторыі трышкіале Навукова-практычнага цэнтра па земляробству НАН Беларусі

Зярніцкая В.П. – кандыдат геаграфічных навук, вядучы навуковы супрацоўнік лабараторыі геадынамікі і палеагеаграфіі Інстытута прыродакарыстання НАН Беларусі

Канцавая І.І. – кандыдат біялагічных навук, дацэнт Гомельскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Ф. Скарыны

Каспяровіч Ю.А. – магістрант кафедры матэматычнага аналізу і дыферэнцыяльных ураўненняў Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

Кожух І.Р. – кандыдат фізіка-матэматычных навук, прафесар кафедры матэматычнага аналізу і дыферэнцыяльных ураўненняў Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

Костка У.С. – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт кафедры агульнай фізікі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

Красоўскі К.К. – доктар геаграфічных навук, дацэнт, першы прарэктар Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

Ліёпа В.А. – доктар фізіка-матэматычных навук, прафесар кафедры теарэтычнай фізікі Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Я. Купалы

Матысік А.В. – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт, загадчык кафедры алгебры і геаметрыі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

Махнач У.В. – асістэнт кафедры фізічнай геаграфіі мацерыкоў і акіянаў і методыкі выкладання геаграфіі Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта

Махнач М.А. – кандыдат геалага-мінэралагічных навук, вядучы навуковы супрацоўнік аддзела літалогіі, петралогіі і геахіміі Беларускага навукова-даследчага геалагаразведчага інстытута

Міхальчук М.В. – кандыдат біялагічных навук, дацэнт, дырэктар Палескага аграрна-экалагічнага інстытута НАН Беларусі

Мяшэчка Я.М. – кандыдат геаграфічных навук, прафесар кафедры геаграфіі Беларусі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

Нікіцюк Д.У. – магістр геаграфічных навук, выкладчык кафедры сацыяльна-эканамічнай геаграфіі і турызму Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

Нябышынец С.С. – кандыдат сельскагаспадарчых навук, загадчык лабараторыі апрацоўкі глебы Навукова-практычнага цэнтра па земляробству НАН Беларусі

Пілецкі І.В. – кандыдат тэхнічных навук, дацэнт Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя П.М. Машэрава

Сабуць А.В. – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт кафедры теарэтычнай фізікі Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Я. Купалы

Сімакова Г.І. – навуковы супрацоўнік геалагічнага музея Беларускага навукова-даследчага геалагаразведчага інстытута

Саўчук В.Ф. – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт, загадчык кафедры інфарматыкі і прыкладной матэматыкі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна



- Секарыжыцкі С.С.** – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт кафедры тэарэтычнай фізікі і астраноміі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Секарыжыцкі У.С.** – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэарэтычнай фізікі і астраноміі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Сідаровіч А.А.** – магістрант Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Ступень Н.С.** – кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры хіміі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Усачова Л.Н.** – кандыдат біялагічных навук, дацэнт кафедры заалогіі і генетыкі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Шык А.С.** – кандыдат сельскагаспадарчых навук, дацэнт, загадчык кафедры батанікі і экалогіі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Яловічава Я.К.** – доктар географічных навук, прафесар, загадчык кафедры фізічнай географіі мацерыкоў і акіянаў і методыкі выкладання географіі Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта

Да ведама аўтараў

Рэдкалегія зборніка навуковых прац «Вучоная запіскі» разглядае рукапісы толькі тых артыкулаў, якія адпавядаюць навуковаму профілю выдання, нідзе не апублікаваныя і не перададзеныя ў іншыя рэдакцыі.

Артыкулы прадстаўляюцца на беларускай, рускай ці англійскай мовах ў двух экзэмплярах аб'ёмам ад 0,5 да 0,75 друкарскага аркуша і ў электронным варыянце на дыскеце 3,5 дм. у фармаце Microsoft Word for Windows (*.doc; *.rtf) і павінны быць аформлены ў адпаведнасці з наступнымі патрабаваннямі:

- папера фармату А4 (21x29,7 см);
- палі: зверху – 2,8 см, справа, знізу, злева – 2,5 см;
- шрыфт – гарнітура Times New Roman;
- кегль – 12 pt.;
- міжрадковы інтэрвал – адзінарны;
- двукоссе парнае «...»;
- абзац: водступ першага радка 1,25 см;
- выраўноўванне тэксту па шырыні.

Максімальныя лінейныя памеры табліц і малюнкаў не павінны перавышаць 15x23 см або 23x15 см. Усе графічныя аб'екты, што ўваходзяць у склад аднаго малюнка, павінны быць згрупаваны паміж сабой. Размернасць усіх велічынь, якія выкарыстоўваюцца ў тэксце, павінна адпавядаць Міжнароднай сістэме адзінак вымярэння (СВ). Забараняюцца скарачэнні слоў, акрамя агульнапрынятых.

Спіс літаратуры павінен быць аформлены паводле ДАСТА 7.1-2003. Спасылкі на крыніцы ў тэксце артыкула абазначаюцца парадкавым нумарам спіса літаратуры у квадратных дужках. Напрыклад: [8, с. 32]. Забараняецца выкарыстанне *канцавых зносак*.

Артыкул уключае наступныя элементы па парадку:

- індэкс УДК;
- ініцыялы і прозвішча аўтара (аўтараў);
- назва друкуемага матэрыялу;
- анатацыя ў аб'ёме каля 500 сімвалаў на мове артыкула (кегль - 10 pt.);
- асноўны тэкст з табліцамі, графікамі і іншымі ілюстрацыйнымі матэрыяламі;
- бібліяграфічныя спісы да артыкула ў адпаведнасці з ДАСТАм 7.1-2003;
- анатацыя на англійскай мове (кегль – 10 pt.) з перакладам назвы артыкула, прозвішча і ініцыялаў аўтара (аўтараў) і назвы друкуемага матэрыялу.

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- звесткі пра аўтара на мове артыкула і *беларускай* мове (прозвішча, імя, імя па бацьку поўнасю, вучоная ступень і званне, месца працы (вучобы) і пасада, хатні адрас і тэлефон);
- для аспірантаў і суіскальнікаў – звесткі аб навуковых кіраўніках;
- рэкамендацыя калегіяльнага органа ўстановы (падроздзялення), дзе працуе (вучыцца) аўтар;
- рэкамендацыя знешняга рэцэнзента;
- экспертнае заключэнне аб магчымасці адкрытай публікацыі.

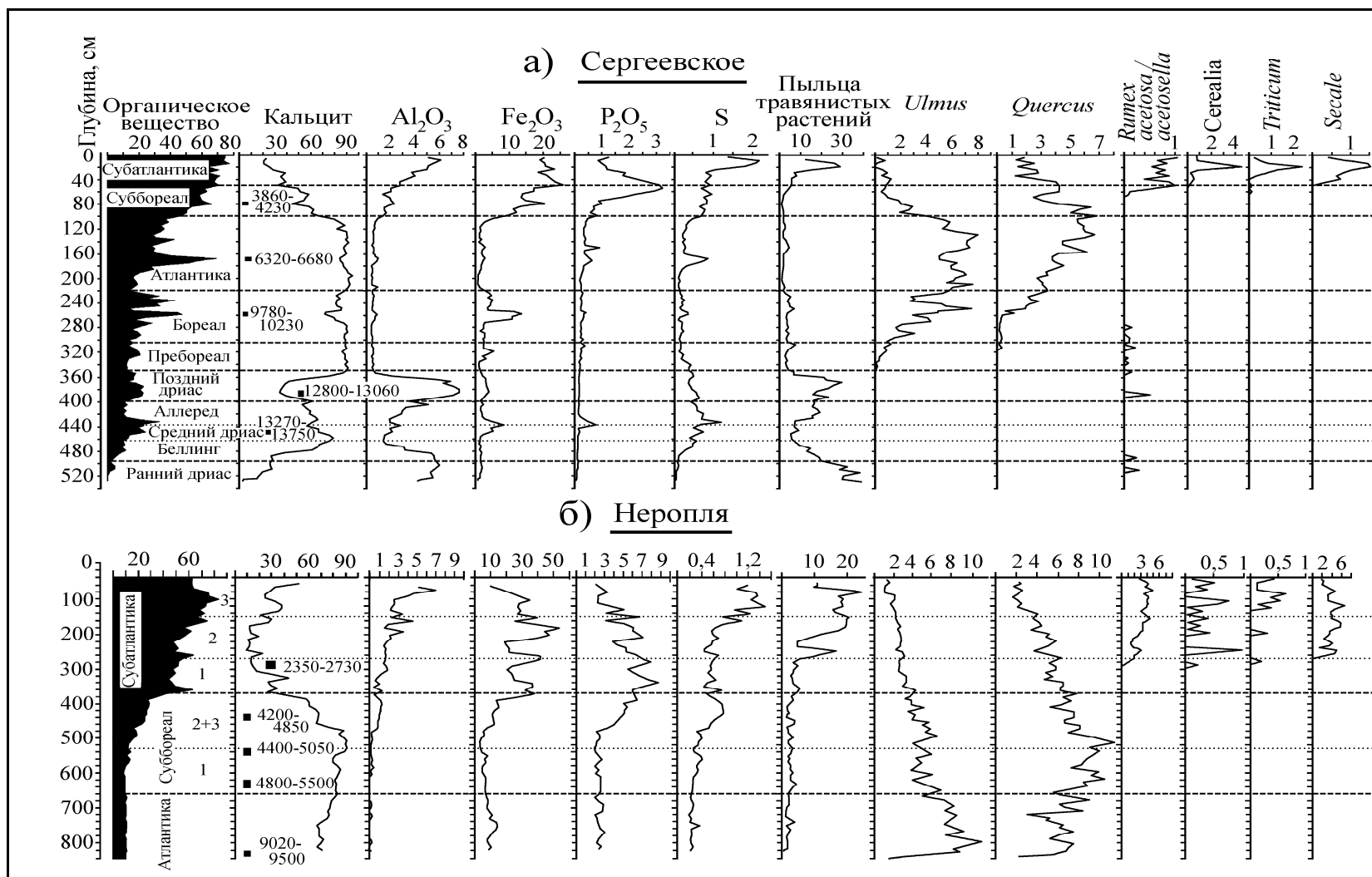
Рэдакцыйная калегія часопіса праводзіць экспертызу атрыманых дакументаў і можа рабіць дадатковае рэцэнзаванне артыкулаў.

Рукапісы, аформленыя не ў адпаведнасці з выкладзенымі правіламі, рэдакцыяй не разглядаюцца.

Камп'ютэрнае макетаванне *А.Я. Кулай, С.М. Мініч*
Карэктары *Л.М. Калілец., Ж.М. Селюжыцкая, М.М. Аляшчэня*

Подпісана в печать 29.12.2010. Формат 60x84/8. Бумага офсетная.
Гарнітура Таймс. Ризография. Усл. печ. л. 18,60. Уч.-изд. л. 15,49.
Тираж 100 экз. Заказ № 826.

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина».
ЛИ № 02330/277 от 30.04.2004.
224016, Брест, ул. Мицкевича, 28.



Датированные слои отмечены прямоугольниками. Возраст выражен в годах календарной (калиброванной радиоуглеродной) шкалы

Рисунок – Изменение некоторых литологических, геохимических и палинологических характеристик в вертикальных разрезах донных отложений озер Сергеевское (а) и Неропля (б).

Таблица 1 – Химический состав кальцитовых скоплений

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ОВ, %	10,6	23,9	–	21,6	22,5	4,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
K ₂ O (2,20)	0,05	0,10	–	0,11	0,03	0,10	0,10	–	0,11	–	–	–	0,31	0,12	–
MgO (1,40)	2,00	2,15	–	0,98	2,71	2,65	2,54	0	2,98	–	–	–	3,04	5,93	–
CaO (2,60)	55,5	56,6	–	51,3	52,8	52,6	52,0	53,6	50,0	–	–	–	50,6	50,0	–
TiO ₂ (0,36)	0,02	0,03	–	0,04	0,02	0,02	0,06	0,04	0,07	0,20	0,02 / 0,13	0,01 / 0,08	0,03	0,02	1,50
MnO (0,05)	0,11	0,11	–	0,08	0,07	0,08	0,23	0	0,01	0,04	0,01 / 0,13	0,01 / 0,02	0,06	0,04	0,03
Fe ₂ O ₃ (4,70)	0,87	0,71	–	1,23	0,42	0,43	0,44	0	0,06	0,83	0,40 / 1,00	0,29 / 0,36	0,16	0,13	1,13
Al ₂ O ₃ (10,9)	0,19	0,26	–	0,57	0,50	0,53	0,42	–	0,50	–	–	–	0,84	0,58	–
SiO ₂ (72,5)	0,75	2,36	–	1,59	0,50	0,63	1,52	–	5,32	–	–	–	5,48	3,51	–
P ₂ O ₅ (0,12)	0,13	0,08	–	0,26	0,28	0,19	0,19	0,04	0,51	–	–	–	0,04	0,14	–
S (0,03)	0,42	0,45	–	0,19	0,21	0,12	0,26	0,11	0,13	–	–	–	0,20	0,27	–
Ba (107)	239	354	268	–	201	303	455	12,6	250	370	1000 / 2100	750 / 2400	240	240	240
Co (7,8)	0	0	0	–	0	0	6,5	0	0	0	0 / 0	0 / 0	0	0	5
Cr (34,2)	0	0	9,1	–	–	0	9,5	8	3,5	10	5 / 7	0 / 0	5	5	8
Cu (16,2)	3,1	6,5	9,5	–	4,2	8,4	6	2,2	5,8	7	10 / 45	10 / 18	30	30	65
Ni (11,9)	4,8	8,9	9,3	–	7,6	0	11,5	5,7	8	8	0 / 0	0 / 0	0	0	18
Pb (14,9)	0	0	9,3	–	0	0	9	2,1	0	9	8,5 / 210	6,5 / 7	0	0	9
Sr (110)	200	200	213	–	217	300	850	982	0	1000	4500 / 9800	4000 / 9000	700	700	700
V (29)	0	6,9	13,8	–	0	0	11,5	8	0	9	0 / 0	0 / 0	0	0	10
Zn (36,6)	0	0	0	–	0	0	0	48	0	0	>0 / 20	0	500	500	600

Примечание – **Озерные и источниковые кальциты:** **1** – залежь из оз. Оконо (54°50'с.ш., 28°32'в.д.), осадки пребореала–бореала, n = 17; **2** – залежь из оз. Теклиц (54°56'с.ш., 28°30'в.д.), осадки пребореала–атлантики, n = 14; **3** – залежь из оз. Нарочь (54°53,174' с.ш., 26°41,303' в.д.), осадки атлантики–субатлантики, n = 8; **4** – залежь из оз. Сергеевское (53°30'40'' с.ш., 27°45'40'' в.д.), осадки пребореала–атлантики, n = 13; **5** – погребенная залежь Мошеное (53°43'с.ш., 27°12'в.д.), осадки бореала–атлантики, n = 7; **6** – погребенная источниковая залежь Птичь (53°48'с.ш., 27°25'в.д.), осадки бореала 3 – атлантики 1, n = 12; **7** – ризокреции из современной кальцитово-торфяной источниковой залежи близ д. Щербишки Поставского района, гл. 100–150 см, n = 2; **8** – травертиновая корка (гряда Чернышева, Республика Коми) [10]. **Педогенные кальциты:** **9** – выполнение крупной корневой полости (диаметр 15 мм), дерново-подзолистая почва близ д. Струсто Браславского района, гл. 60 см; **10** – карбонатная кутана на известняковом обломке, дерново-подзолистая почва близ д. Юньки Поставского района, гл. 60 см. **Продукты карбонатазации бетона:** **11** – эфемерные сталактиты на бетонных сооружениях Минска, средняя/максимальная концентрация, n = 57; **12** – эфемерные сталактиты на мостах вне населенных пунктов Беларуси, средняя/максимальная концентрация, n = 34; **13** – продукт изменения строительного цемента средневекового Кревского замка (Сморгонский район), n = 2. **Кальциты техногенные и**

полученные экспериментальным путем: **14** – накипь; **15** – кальцит, осажденный в результате попеременного замораживания–растопления воды, взятой из колонки водоснабжения в д. Крыжовка Минского района

Таблица 3 – Химический состав скоплений аутигенных оксидов железа и марганца из автономных и гидроморфных почв

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K ₂ O (2,20)	1,61	1,28	–	–	2,13	1,13	0,52	–	–	–	–	0,97	0,28
MgO (1,40)	2,26	1,43	–	–	1,48	1,14	1,70	–	–	–	0,12	1,98	0,14
CaO (2,60)	1,37	0,49	–	–	0,27	2,61	2,94	–	–	–	0,72	27,7	7,70
TiO ₂ (0,36)	0,43	0,23	–	–	0,77	0,23	0,21	–	–	–	–	0,22	0,09
MnO (0,05)	3,90	6,13	8,26	0,57	0,04	4,32	1,58	21,9	6,06	0,74	1,39	0,30	0,61
Fe ₂ O ₃ (4,70)	6,05	3,93	24,0	–	34,7	25,0	65,5	48,5	50,9	65,8	69,3	23,2	71,2
Al ₂ O ₃ (10,9)	16,1	13,8	11,7	–	7,65	6,81	2,85	–	–	–	0,93	4,06	2,27
SiO ₂ (72,5)	66,6	70,7	31,0	–	50,4	54,6	13,8	–	–	14,0	10,5	16,2	5,47
P ₂ O ₅ (0,12)	0,15	0,15	–	–	0,83	1,68	8,20	–	–	5,81	3,48	3,48	2,08
S (0,03)	0,01	0,01	–	–	0,15	0,02	0,28	–	–	–	–	1,43	0,01
Ba (107)	1300	3000	–	–	290	2514	1700	–	–	–	–	450	333
Co (7,8)	200	200	188	206	7	5,7	10	230	80	–	–	9	2,5
Cr (34,2)	15	11	119	122	155	5,0	0	40	–	–	–	0	0
Cu (16,2)	50	55	84	84	93	13,4	9,5	–	40	–	–	13	33
Ni (11,9)	200	210	534	147	24,5	7,1	10,5	–	40	–	–	28	11,5
Pb (14,9)	65	17	1423	173	8,5	11,3	7,5	27	–	–	–	15	18,8
V (29)	35	22	–	–	135	32,3	12,5	–	–	–	–	20	4,2
Zn (36,6)	200	0	4063	199	400	0	350	50	–	–	–	270	575

Примечание – **Рыхлые железо-марганцевые конкреции**: **1** – из дерново-подзолистой почвы (гл. 120 см) близ г. Глогувек (Польша, Опольское воеводство, 50°22' с.ш., 17°53' в.д.); **2** – из дерново-подзолистой почвы (гл. 100 см) близ г. Влодары (Польша, Опольское воеводство, 50°28' с.ш., 17°30' в.д.); **3** – из почвы-рендзины, развитой на нижнеюрских известняках (северо-восток горного массива Морван, Франция) [14]; **4** – из бурой лесной залежной почвы (7 км к северо-востоку от г. Уссурийск 43°48,7' с.ш., 132°2' в.д.), Приморский край РФ, среднее по горизонтам A1, B1g, B2g, гл. 0–76 см [15]. **Твердые конкреции (ортиштейны)**: **5** – крупные плотно сцементированные эллипсоидальные и пальцеобразные конкреции из дерново-подзолистой почвы (гл. 110–120 см) близ пос. Красносельский Волковисского района. **Болотные руды**: **6** – аллювиально-болотная руда из пойменных отложений (гл. 100–110 см), правый берег р. Бобр, напротив д. Черневка Борисовского района, n = 7; **7** – аллювиально-болотная руда с гл. 70–120 см из пойменных отложений р. Друть близ д. Малиновка Бельничского района, n = 2; **8** – болотные руды Швеции [16]; **9** – болотные руды Швеции [17]; **10** – болотные руды окрестностей Варшавы, Польша [18]; **11** – болотные руды западной Ютландии, Дания [19], n = 9; **12** – железорудный горизонт (в смеси с кальцитом) на контакте торфяной залежи и подстилающего погребенного озерного мела, близ д. Мошеное Дзержинского района, гл. 40–50 см; **13** – покровная вишнево-красная охра (преимущественно гематит и гетит) на осушенном торфяном массиве Синюха Вилейского района, гл. 0–20 см

Таблица 4 – Химический состав скоплений оксидов железа и марганца из подпочвенной части зоны гипергенеза

Элемент	1	2	3	3а	4	4а	4б	5	5а	6	7	8	9	10	11	12	13	14
K ₂ O (2,20)	1,33	0,82	1,04	0,21	4,95	1,32	0,50	0,43	0,35	0,99	0,30	0,65	0,48	0,38	–	1,06	0	0,20
MgO (1,40)	1,02	0,20	0,21	0,10	1,27	1,36	1,18	1,43	1,32	1,90	1,21	2,90	1,20	2,33	–	3,07	0,13	0,77
CaO (2,60)	0,95	0,34	0,21	1,61	0,68	1,01	1,21	0,48	0,75	1,38	1,02	13,1	3,58	3,04	–	1,12	1,70	2,69
TiO ₂ (0,36)	0,16	0,21	0,02	0,05	1,20	0,17	0,22	0,20	0,34	0,20	0,35	0,22	0,12	0,13	0,15	0,08	0	0,02
MnO (0,05)	3,79	0,59	0,02	0,07	0,24	0,15	0,33	0,09	0,10	0,16	0,05	2,09	2,59	0,04	0,07	1,46	0,58	25,9
Fe ₂ O ₃ (4,70)	1,57	54,2	22,8	30,4	48,6	79,6	84,1	85,1	82,3	71,1	81,6	50,6	81,1	58,7	–	79,3	53,5	20,8
Al ₂ O ₃ (10,9)	5,85	2,93	1,95	0,66	6,28	1,35	1,26	1,07	1,09	1,08	0,98	4,38	3,40	1,07	–	3,74	0	0,42
SiO ₂ (72,5)	83,2	35,5	46,7	59,3	33,8	7,24	5,41	7,54	4,11	15,4	9,46	11,1	5,95	30,1	–	7,49	5,87	8,38
P ₂ O ₅ (0,12)	0,13	0,15	0,02	0,12	0,02	0,61	0,02	0,06	0,23	1,10	0,15	0,76	0,92	1,05	–	0,16	1,30	4,39
S (0,03)	0,01	0,06	26,2	0,02	2,61	1,64	0,34	0,41	0,33	0,29	0,35	0,03	0,03	0,03	–	0,04	–	–
Ba (107)	1200	210	160	240	–	–	–	–	–	–	340	250	200	220	230	180	312	10027
Co (7,8)	30	16	0	15	–	–	–	–	–	–	7	22	16	0	11	10	1,6	1142
Cr (34,2)	0	0	0	0	–	–	–	–	–	–	0	0	0	24	0	0	–	–
Cu (16,2)	56	13	7	23	–	–	–	–	–	–	250	32	20	200	100	30	0	262
Ni (11,9)	235	21	10	100	–	–	–	–	–	–	100	140	130	20	55	10	6,3	2598
Pb (14,9)	12,5	6	20	18	–	–	–	–	–	–	30	7	7	8	30	25	2,8	19,5
V (29)	16	9	0	20	–	–	–	–	–	–	100	26	18	180	120	36	–	–
Zn (36,6)	100	0	0	0	–	–	–	–	–	–	800	450	800	200	400	550	8	51084

Примечание – **Рудные горизонты:** **1** – из сожских флювиогляциальных отложений близ д. Пиваши Солигорского района, гл. 4 м; **2** – из флювиогляциальных отложений близ г. Гардавице (Польша, Силезское воеводство), гл. 4 м. **Продукты окисления пиритсодержащих обломков:** **3** – мало измененное ядро крупногалечного обломка из флювиогляциальных отложений, близ д. Нешава (Польша, Куявско-Поморское воеводство), гл. 5 м; **3 а** – внешняя гетитовая оболочка измененного пиритсодержащего обломка из флювиогляциальных отложений близ д. Нешава, гл. 5 м; **4** – остаток ядра пиритсодержащего обломка (отдельные агрегаты внутри полой гетитовой конкреции) из флювиогляциальных отложений, близ д. Песляковщина Воложинского района, гл. 3 м; **4 а** – плотная оболочка полой гетитовой конкреции из флювиогляциальных отложений близ д. Песляковщина, гл. 3 м; **4 б** – рыхлое охристое покрытие полой гетитовой конкреции из флювиогляциальных отложений близ д. Песляковщина, гл. 3 м; **5** – плотная оболочка септариевой гетитовой конкреции из флювиогляциальных отложений, близ д. Песляковщина, гл. 4 м; **5 а** – рыхлое охристое покрытие полой гетитовой конкреции из флювиогляциальных отложений близ д. Песляковщина, гл. 4 м; **6** – охристое образование из флювиогляциальных отложений близ д. Песляковщина, гл. 3,5 м; **7** – охристое образование с плотным черным ядром из флювиогляциальных отложений близ д. Кутенята Воложинского района, гл. 4 м. **Скопления на щелочном геохимическом барьере и продукты замещения карбонатных обломков:** **8** – полая гетитовая конкреция из флювиогляциальных отложений близ д. Нешава, гл. 4 м; **9** – Гетитовая рубашка мощностью 5 мм на карбонатном обломке из вислинской морены близ д. Вапенно (Польша, Куявско-Поморское воеводство), гл. 8 м; **10** – рыхлое охристое образование из флювиогляциальных отложений, близ д. Задвожаны (Польша, Подляское воеводство); **11** – плотное вишнево-красное гематит-гетитовое образование из флювиогляциальных отложений близ д. Песляковщина, гл. 5 м. **Продукт замещения**

аутигенного сидерита: 12 – гетит (с примесью гематита и сидерита) в трещинах гранитного массива г.п. Микашевичи, гл. 12 м.
Покрывтия на кварцевых песчаных зернах водоочистных сооружений немецких городов [21]: **13** – Емдена, **14** – Саарбрюкена

Таблица 5 – Химический состав озерных диагенетических скоплений железа и марганца

Элемент	1	1а	2	3	4	4а	5	6	6а	7	8	9	10	11	12
K ₂ O (2,20)	0,01	0,03	–	–	–	–	0,27	–	–	–	–	–	1,96	3,50	0,12
MgO (1,40)	0,25	0,26	–	–	–	–	0,93	0,64	0,72	–	–	–	–	–	–
CaO (2,60)	30,3	26,9	3,66	3,66	3,51	3,23	1,18	2,35	1,37	–	–	–	–	–	–
TiO ₂ (0,36)	0,01	0,01	–	–	–	–	0,01	–	–	–	–	–	0,52	1,00	–
MnO (0,05)	3,15	0,59	1,85	8,99	12,8	1,51	1,91	19,8	1,42	42,6	20,3	14,3	9,35	16,8	4,13
Fe ₂ O ₃ (4,70)	33,5	25,8	52,1	16,1	36,0	53,4	85,1	25,9	47,5	23,7	57,5	21,7	21,6	55,8	80,1
Al ₂ O ₃ (10,9)	0,22	0,01	–	–	–	–	1,44	–	–	–	–	–	–	–	–
SiO ₂ (72,5)	4,52	14,6	–	–	–	–	2,55	–	–	–	–	–	–	–	–
P ₂ O ₅ (0,12)	1,43	2,04	1,22	0,83	2,12	3,43	1,23	1,42	2,16	–	–	–	0,64	1,42	–
S (0,03)	0,03	0,02	0,18	0,72	0,12	0	0,02	–	–	–	–	–	0,026	0,048	–
Ba (107)	1000	280	–	–	–	–	200	–	–	–	–	–	2900	8000	2000
Co (7,8)	3,0	0	–	–	–	–	100	–	–	196	135	40	35	60	50
Cr (34,2)	0	0	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	35	60	<20
Cu (16,2)	8	8	–	–	–	–	10	–	–	14	10	10	10	20	–
Ni (11,9)	0	0	–	–	–	–	70	–	–	296	95	20	25	40	50
Pb (14,9)	0	0	–	–	–	–	0	–	–	26	24	–	2600	8000	<30
Sr (110)	0	0	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	60	100	800
V (29)	0	0	–	–	–	–	12	–	–	–	–	–	60	100	100
Zn (36,6)	350	200	–	–	–	–	2000	–	–	1665	250	11000	1100	3000	–

Примечание – *Охристые (гетитовые) ризокреции в карбонатных озерных отложениях*: **1** – из погребенной залежи палеоозера Адров Оршанского района, гл. в залежи 145 см; **1а** – из погребенной залежи палеоозера Адров Оршанского района, гл. в залежи 270 см. *Ожелезненные сапропели*: **2** – из оз. Лесковичи Шумилинского района, поверхность осадка, гл. воды 31 м [5]; **3** – из оз. Полозно Ушачского района, поверхность осадка, гл. воды 32,5 м [5]. *Озерные железо-марганцевые конкреции и коры*: **4** – конкреция из оз. Ричи Браславского района, поверхность осадка, гл. воды 8 м [5]; **4а** – конкреция из оз. Ричи, поверхность осадка, гл. воды 21 м [5]; **5** – переотложенные ледником железо-марганцевые конкреции межледникового озера, из флювиогляциальных отложений близ д. Стражево Дубровенского района, гл. залежи 6 м; **6** – черная масса конкреции из оз. Богдановское Сенненского района [5]; **6а** – охристая масса конкреции из оз. Богдановское [5]; **7** – конкреции из оз. Гранд Лэйк, провинция Новая Шотландия, Канада, n = 41 [23]; **8** – конкреции из оз. Москуе Лэйк, провинция Онтарио, Канада, n = 17 [23]; **9** – окисленные коры из озер английского Озерного Края [23]; **10** – окисленные коры из озер Уиндермир и Естуэйт, английский Озерный Край [22]; **11** – максимальные содержания химических элементов в железо-марганцевых конкрециях английских озер [22]; **12** – максимальные содержания химических элементов в железо-марганцевых конкрециях шведских озер [22]

Таблица 1 – Существующие и перспективные ООПТ в составе Орхидного пояса и их флористические достопримечательности

№ п/п	Название	Год образования	Площадь, га	Охраняемые виды			
				Виды семейства Orchidaceae Juss.		Виды других семейств	
				1	2	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Действующие ООПТ							
1.1. Республиканские ландшафтные заказники							
1	Прибужское По- лесье (восточный сектор)*	2003	7 950	Cephalanthera rubra (L.) Rich. (III)** Epipactis atrorubens (Hoffm. ex Bernh.) Bess.(III) Platanthera chlorantha (Cust.) Reichenb. (III) Cypripedium calceolus L. (III) Listera ovata (L.) Br. (IV)	Epipactis helleborine (L.) Crantz Platanthera bifolia (L.) Rich.	Gladiolus imbricatus L. (IV) Hedera helix L. (II) Lilium martagon L. (IV) Melittis sarmatica Klok.(III) Dentaria bulbifera L.(IV)	Campanula persicifolia L. Hepatica nobilis Mill. Pimpinella major (L.) Huds. Corydalis cava (L.) Schweigg. Et Koerte Dianthus superbus (L.) Thalictrum aquilegifolium L.
2	Радос- товский	1978	6 857	Platanthera chlorantha	Epipactis helleborine Platanthera bifolia	Dentaria bulbifera Melittis sarmatica	Campanula persicifolia Dianthus superbus Veratrum lobelianum Bernh.
1.2. Республиканские биологические заказники							
3	Луково***	1994	1 523	Cephalanthera rubra Cypripedium calceolus Epipactis atrorubens Listera ovata	Epipactis helleborine Platanthera bifolia Neottia nidus-avis (L.) Rich.	Anemone sylvestris L. (IV) Dentaria bulbifera Iris sibirica L. (IV) Lilium martagon Melittis sarmatica Galium tinctorium (L.) Scop (II) Peucedanum cervaria (L.) Lapeyr. (III) Gladiolus imbricatus	Campanula persicifolia Corydalis cava Primula veris L. Veratrum lobelianum Thalictrum aquilegifolium Pimpinella major Dianthus superbus Festuca tenuifolia Sibth. Campanula cervicaria (L.) Lembotropis nigricans (L.) Succisella inflexa (Kluk) G. Beck
4	Званец	1996	10 460	Cephalanthera rubra Cypripedium calceolus Listera ovata	Epipactis helleborine Platanthera bifolia	Dentaria bulbifera Hypericum tetrapterum Fries. (I)	Campanula persicifolia Dianthus superbus Primula veris

1	2	3	4	5	6	7	8
							Veratrum lobelianum Helianthemum nummularium Gentiana pneumonanthe L. Campanula cervicaria Thalictrum aquilegifolium Saxifraga tridactylites L.
5	<u>Тырво-вечи</u>	1994	1 391	Cypripedium calceolus Platanthera chlorantha	Epipactis helleborine	Dentaria bulbifera	Campanula persicifolia Corydalis cava
1.3. Местные биологические заказники							
6	<u>Хмельёвка</u>	1995	607	Cephalanthera rubra Cypripedium calceolus Platanthera chlorantha Listera ovata	Epipactis helleborine Platanthera bifolia Neottia nidus-avis	Dentaria bulbifera Hedera helix Iris sibirica Lilium martagon Melittis sarmatica	Aquilegia vulgaris L. Campanula persicifolia Hepatica nobilis Primula veris Pimpinella major Veratrum lobelianum Thalictrum aquilegifolium Hippuris vulgaris L.
7	<u>Гусак</u>	1989	4 566	Cephalanthera rubra Platanthera chlorantha Listera ovata	Dactylorhiza incarnata (L.) Soo Platanthera bifolia	Dentaria bulbifera Hedera helix	Campanula persicifolia Corydalis cava Digitalis grandiflora Mill. Hepatica nobilis Pimpinella major
8	<u>Дивин – Великий Лес</u>	1997	3 049	Cephalanthera longifolia (L.) Fritsch. (III) Cephalanthera rubra Cypripedium calceolus Epipactis atrorubens Gymnadenia conopsea (L.) R. Br. (III) Listera ovata Orchis mascula L.(II) Platanthera chlorantha	Epipactis helleborine Platanthera bifolia	Bromopsis benekenii (Lange) Holub (II) Campanula latifolia L. (IV) Carex umbroza Host(IV) Dentaria bulbifera Iris sibirica Melittis sarmatica Salix myrtilloides L. (III) Pedicularis sceptrum- carolinum L. (II) Gentiana cruciata L. (III) Lilium martagon	Campanula persicifolia Corydalis cava Hepatica nobilis Primula veris Prunella grandiflora (L.) Scholl. Veratrum lobelianum Pimpinella major Dianthus superbus Digitalis grandiflora Thalictrum aquilegifolium Daphne mezereum

1	2	3	4	5	6	7	8
							Saxifraga tridactylites Carex flacca Schreb. Helianthemum nummularium
9	Клища	1990	12	Cephalanthera rubra Cypripedium calceolus Listera ovata	Epipactis helleborine Platanthera bifolia	Hypericum tetrapterum	Corydalis cava Pimpinella major
10	Завышье	1995	1 295,5	Cephalanthera rubra Cypripedium calceolus Listera ovata Platanthera chlorantha	Epipactis helleborine Platanthera bifolia	Ajuga pyramidalis L.(IV) Dentaria bulbifera Iris sibirica Lilium martagon Melittis sarmatica Salvia pratensis L. (IV)	Campanula persicifolia Dianthus superbus Prunella grandiflora Veratrum lobelianum
11	Изин	1998	440	Epipactis atrorubens Cepha- lanthera rubra Cypripedium calceolus Listera ovata Platanthera chlorantha	Epipactis helleborine Platanthera bifolia	Dentaria bulbifera Gladiolus imbricatus Iris sibirica Lilium martagon Melittis sarmatica	Campanula persicifolia Digitalis grandiflora Primula veris Diathus carthusianorum Veratrum lobelianum
1.4. Местные ботанические памятники природы							
12	Высокое	2009	5,61	Cypripedium calceolus Listera ovata Cephalanthera rubra	Epipactis helleborine	Allium ursinum L. (III) Dentaria bulbifera Melittis sarmatica Prunus spinosa L. (III)	Pimpinella major Corydalis cava Primula veris L. Thalictrum aquilegifolium
2. Перспективные ООПТ							
2.1. Местные биологические заказники							
13	Днепробуг****		106,8	Cephalanthera rubra Cypripedium calceolus Epipactis atrorubens Gymnadenia conopsea Listera ovata Platanthera chlorantha	Epipactis helleborine Platanthera bifolia Neottia nidus-avis	Dentaria bulbifera Gentiana cruciata L. (III) Salix myrtilloides L. (III) Crepis mollis	Campanula persicifolia Corydalis cava Dianthus superbus Prunella grandiflora Veratrum lobelianum Carex flacca Pimpinella major Helianthemum nummularium Campanula cervicaria Thalictrum aquilegifolium Centaurea phrygia L.

1	2	3	4	5	6	7	8
							Succisella inflexa (Kluk) G.Beck Saxifraga tridactylites Sanguisorba officinalis L. Primula veris
2.2. Ботанические памятники природы							
14	Сварынь		60	Cypripedium calceolus Listera ovata	Epipactis helleborine		Veratrum lobelianum
15	Пертыце		34,8	Cypripedium calceolus Listera ovata	Epipactis helleborine Platanthera bifolia	Campanula latifolia Iris sibirica Lilium martagon Melittis sarmatica	Campanula persicifolia Corydalis cava Hepatica nobilis Veratrum lobelianum Pimpinella major
16	Сошні		20	Cypripedium calceolus Listera ovata Cephalanthera rubra	Epipactis helleborine		Thalictrum aquilegifolium
17	Хогіслаў		100	Cypripedium calceolus Listera ovata Cephalanthera rubra Dactylorhiza majalis	Epipactis helleborine Platanthera bifolia	Iris sibirica Melittis sarmatica Carex umbroza Trollius europeus	Dianthus superbus Polygonum bistorta L. Sanguisorba officinalis Succisella inflexa Veratrum lobelianum
18	Мельнікі		94	Cypripedium calceolus Listera ovata Platanthera chlorantha	Epipactis helleborine Platanthera bifolia Neottia nidus-avis	Dentaria bulbifera Melittis sarmatica	Corydalis cava Hepatica nobilis Veratrum lobelianum Thalictrum aquilegifolium

1 – виды, включенные в Красную книгу Республики Беларусь (2005); 2 – виды, нуждающиеся в профилактической охране.

* – перечень охраняемых видов в границах ООПТ № 6, 10, 11, кроме авторских материалов, составлен с использованием данных В.Т. Демянчика, Н.А. Чеботаревой, С.Ф. Павловой; № 8 – Д.И. Третьякова, № 17,18 – С.С. Савчука (персональные сообщения).

** – римские числа в скобках – категории охраны Красной книги Республики Беларусь.

*** – ООПТ, подчеркнутые сплошной линией, созданы на основе авторских обоснований; перспективные ООПТ (на основе авторских предложений) подчеркнуты прерывистой линией.

**** – 10 островных дендрочастков в агроландшафтах ОАО «Днепробугское» (Кобринский район).

