

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 7

*Частка 2
Прыродазнаўчыя навукі*

Брэст • 2011

Заснаваны ў 2005 годзе

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 навукках*),

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

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 978-985-473-810-9 (ч. 2)
ISBN 978-985-473-772-0

© УА «БрДУ імя А.С.Пушкіна», 2011

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 7

*Part 2
Natural Sciences*

Brest • 2011

Founded 2005

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. Vaty, 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 978-985-473-810-9 (ч. 2)

ISBN 978-985-473-772-0

© EE «BrSU named after A.S. Pushkin», 2011

Вучоныя запіскі



Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

ЗБОРНИК НАВУКОВЫХ ПРАЦ

2011 • Вып. 7 • Ч. 2

ЗМЕСТ

МАТЭМАТЫКА

Матысик О.В., Деращиц Н.А. Апостериорный выбор числа итераций в неявном методе решения некорректных задач	7
Юдов А.А., Гурская Е.Е. Свойства присоединенного представления группы Ли движений пространства Минковского	15

ФІЗІКА

Лиопо В.А., Липовецкий С.С., Секержицкий С.С., Струк В.А., Никитин А.В. Методы структурной физики в астрономии	20
Ревинский А.Ф. Решение уравнений Элиашберга для сверхпроводника MgB_2	29
Тарасевич Ю.Г., Белко А.В., Саросек С.И., Юркевич Ю.Ю. Динамика нелинейных систем при различных условиях однозначности	37

ХІМІЯ

Ступень Н.С. Экологические аспекты использования промышленных отходов	42
--	----

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

Богдасаров М.А., Гречаник Н.Ф. Основные этапы формирования четвертичных отложений территории Подляско-Брестской впадины	50
Гречаник Н.Ф., Богдасаров М.А. Геологическое строение дочетвертичных отложений территории Подляско-Брестской впадины	66
Кольмакова Е.Г., Маслова О.И., Гриб С.В. Биогенный сток рек бассейна Западной Двины как показатель агрохозяйственного освоения водосборов	79
Красовский К.К., Никитюк Д.В. Пригородная территория: теоретико-методические основы исследования	89
Ломтев В.Л. Новое в строении и газоносности западного борта Северо-Татарского трога (Японское море)	98
Ломтев В.Л. Признаки палеоциды и тетиса на ложе СЗ Пацифики	110
Рудько Г.И. Общие положения медицинской геологии как нового направления в науке	123
Токарчук О.В. мониторинг качества поверхностных вод трансграничной части бассейна реки Западный Буг: состояние и проблемы оптимизации	133

Звесткі аб аўтарах	141
--------------------------	-----

Scientific Proceeding



Brest state university named after A.S. Pushkin

COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS

2011 • Issue 7 • Part 2

INDEX

MATHEMATIS

Yudov A.A., Gurskaya H.E. The Properties of the Adjoint Representation of the Lie Group of Motions of the Minkowski Space 7

Matysik O.V., Derachic N.A. Aposteriori Choice of the Number of Iterations in the Implicite Method for Solving Incorrect Tasks 15

PHYSIS

Liopo V.A., Lipavetski S.S., Sekerzhitsky S.S., Struk V.A., Nikitin A.V. Structural Physical Methods in Astronomy 20

Ravinski A.F. Solution of the Eliashberg Equations for MgB₂ Superconducting 29

Tarasievich Yu.G., Belko A.V., Sarosek S.I., Yurkevich Yu.Yu. Dynamics of Non-linear Systems under Different Constraining Conditions 37

CHEMISTRY

Stupen N.S. Ecological Aspects of Industrial Waste Use 42

SCIENES ON EARTH

Bogdasarov M.A., Grechanik N.F. The Basic Stages of Formation of Quaternary Deposits on the Territory of Podlessko-Brest Depression 50

Grechanik N.F., Bogdasarov M.A. The Geological Structure of Pre-Quaternary Deposits of the Territory of Podlessko-Brest Depression 66

Kalmakova A.G., Maslova O.I., Grib S.V. Nutrients Runoff of Zapadnaya Dvina Basin Rivers as a Parameter of Agricultural Development of Watersheds 79

Krasovski K.K., Nikityuk D.V. Suburban Areas: Theoretical and Methodological Foundations of Research 89

Lomtev V.L. The New in the Structure and Gas Presence of Western Side of North-Tatarsky Trough (Sea of Japan) 98

Lomtev V.L. Pacifida and Tethys Signs on the NW Pacific Abyssal Floor 110

Rudko G.I. General Provisions of Medical Geology as a New Direction in Science 123

Tokarchuk O.V. Monitoring of Quality of Superficial Waters of the Transboundary part of the River Basin Western Bug: the Condition and Optimization Problems 133

Information about the authors 141



УДК 519.6 + 517.983.54

О.В. Матысик, Н.А. Дерачиц

АПОСТЕРИОРНЫЙ ВЫБОР ЧИСЛА ИТЕРАЦИЙ В НЕЯВНОМ МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ НЕКОРРЕКТНЫХ ЗАДАЧ

В гильбертовом пространстве для решения линейных операторных уравнений I рода с положительным ограниченным и несамосопряжённым оператором предлагается неявный итерационный метод. Для предложенного метода обосновано применение правила останова по соседним приближениям, что делает рассматриваемый итерационный метод эффективным и тогда, когда нет сведений об истокообразной представимости точного решения. В исходной норме гильбертова пространства доказана сходимость итерационного метода, получена оценка для момента останова.

1. Постановка задачи

В гильбертовом пространстве H решается линейное операторное уравнение первого рода

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

где A – оператор положительный, ограниченный, несамосопряжённый. Предполагается, что нуль не является собственным значением оператора A . Однако нуль принадлежит спектру оператора A , поэтому задача (1) неустойчива и, следовательно, некорректна.

Предположим, что $y \in R(A)$, т.е. при точной правой части y уравнение (1) имеет единственное решение x . Будем искать его, используя неявный итерационный метод

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

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

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

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

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

(3) примет вид

$$z_{n+1} = Cz_n + By_\delta + Cu_n. \quad (4)$$

2. Правило останова по соседним приближениям

В том случае, когда истокообразная представимость точного решения ($x = A^s z$, $s > 0$) неизвестна, итерационный метод (3) можно сделать эффективным, если воспользоваться следующим правилом останова по соседним приближениям [1–3]. Зададим уровень останова $\varepsilon > 0$ и момент останова m определим условиями

$$\|z_n - z_{n+1}\| > \varepsilon, \quad (n < m), \quad \|z_m - z_{m+1}\| \leq \varepsilon. \quad (5)$$



Покажем, что метод (3) с правилом останова (5) сходится. Справедлива

Лемма 1. Пусть приближение w_n определяется условиями

$$w_0 = z_0, w_{n+1} = Cw_n + By + Cu_n, n \geq 0. \quad (6)$$

Тогда справедливо неравенство $\sum_{k=0}^n \|w_k - w_{k+1} + Cu_k\|^2 \leq \|w_0 - x\|^2 + \sum_{k=0}^{n-1} \|Cu_k\|^2$.

Доказательство. Из (6) имеем при $n = k$ $Cu_k = w_{k+1} - Cw_k - By$. Отсюда, используя равенство $A^*Ax = A^*y$, получим

$$\begin{aligned} u_k &= C^{-1}w_{k+1} - w_k - C^{-1}By = C^{-1}w_{k+1} - w_k - \\ &- \left(E + \alpha(A^*A) \right) \left(E + \alpha(A^*A) \right)^{-1} \alpha(A^*A)^2 A^*y = \\ &= C^{-1}w_{k+1} - w_k - \alpha(A^*A)^2 A^*y = C^{-1}w_{k+1} - w_k - \alpha(A^*A)^3 x = C^{-1}w_{k+1} - \\ &- w_k - C^{-1}(E - C)x = C^{-1}(w_{k+1} - x) - (w_k - x). \end{aligned}$$

Обозначим $\Delta_k = w_k - x$, тогда $u_k = C^{-1}\Delta_{k+1} - \Delta_k$, откуда $Cu_k = \Delta_{k+1} - C\Delta_k$.

Имеем

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{n-1} \|Cu_k\|^2 &= \sum_{k=0}^{n-1} (\Delta_{k+1} - C\Delta_k, \Delta_{k+1} - C\Delta_k) = \sum_{k=1}^n (\Delta_k, \Delta_k) + \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, C\Delta_k) - \\ &- 2 \sum_{k=0}^{n-1} (\Delta_{k+1}, C\Delta_k) = \sum_{k=1}^n (\Delta_k, \Delta_k) + \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, C\Delta_k) - 2 \sum_{k=0}^{n-1} (C^{1/2}\Delta_{k+1}, C^{1/2}\Delta_k). \end{aligned} \quad (7)$$

Оценивая абсолютную величину последнего слагаемого правой части (7) по неравенству Коши-Буняковского, приходим к неравенству

$$\sum_{k=0}^{n-1} \|Cu_k\|^2 \geq \sum_{k=1}^n (\Delta_k, \Delta_k) + \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, C\Delta_k) - 2 \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2} \left\{ \sum_{k=1}^n (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2}, n \geq 1. \quad (8)$$

Покажем, что $(E - C)\Delta_k = w_k - w_{k+1} + Cu_k$, $k \geq 0$. Имеем $Cu_k = \Delta_{k+1} - C\Delta_k$, $\Delta_k + Cu_k = \Delta_k + \Delta_{k+1} - C\Delta_k$, тогда $\Delta_k + Cu_k = (E - C)\Delta_k + \Delta_{k+1}$, $w_k - x + Cu_k = (E - C)\Delta_k + w_{k+1} - x$, откуда следует, что

$$(E - C)\Delta_k = w_k - w_{k+1} + Cu_k, k \geq 0. \quad (9)$$

Используя равенство (9), запишем неравенство (7) в виде

$$\sum_{k=0}^{n-1} \|Cu_k\|^2 \geq \sum_{k=1}^n (\Delta_k, \Delta_k) + \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, C\Delta_k) - 2 \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2} \left\{ \sum_{k=1}^n (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2} =$$



$$\begin{aligned}
 &= -(\Delta_0, \Delta_0) + \sum_{k=0}^n (\Delta_k, \Delta_k) + \sum_{k=0}^n (C\Delta_k, C\Delta_k) - (C\Delta_n, C\Delta_n) - 2 \sum_{k=0}^n (C\Delta_k, \Delta_k) + 2 \sum_{k=0}^n (C\Delta_k, \Delta_k) - \\
 &\quad - 2 \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2} \left\{ \sum_{k=1}^n (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2} = -(\Delta_0, \Delta_0) + \sum_{k=0}^n ((E-C)\Delta_k, (E-C)\Delta_k) + \\
 &\quad + 2 \sum_{k=0}^n (C\Delta_k, \Delta_k) - (C\Delta_n, C\Delta_n) - 2 \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2} \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2} = \\
 &\quad = -(\Delta_0, \Delta_0) + \sum_{k=0}^n ((E-C)\Delta_k, (E-C)\Delta_k) + \gamma_n,
 \end{aligned}$$

где $\gamma_n = 2 \sum_{k=0}^n (C\Delta_k, \Delta_k) - (C\Delta_n, C\Delta_n) - 2 \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2} \left\{ \sum_{k=1}^n (C\Delta_k, \Delta_k) \right\}^{1/2}$.

Нетрудно показать, что $\gamma_n \geq 0$ при любых $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$. Тогда

$$\sum_{k=0}^{n-1} \|Cu_k\|^2 \geq -(\Delta_0, \Delta_0) + \sum_{k=0}^n ((E-C)\Delta_k, (E-C)\Delta_k). \text{ Используя равенство (9), получим}$$

$$\sum_{k=0}^{n-1} \|Cu_k\|^2 \geq -(\Delta_0, \Delta_0) + \sum_{k=0}^n \|w_k - w_{k+1} + Cu_k\|^2, \text{ откуда выполняется}$$

$$\sum_{k=0}^n \|w_k - w_{k+1} + Cu_k\|^2 \leq \|w_0 - x\|^2 + \sum_{k=0}^{n-1} \|Cu_k\|^2. \text{ Лемма 1 доказана.}$$

Имеет место

Лемма 2. При $\forall w_0 \in H$ и произвольной последовательности ошибок $\{u_n\}$, удовлетворяющих условию $\|u_n\| \leq \beta$, выполнено неравенство

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} \|w_n - w_{n+1}\| \leq 2\|C\|\beta. \quad (10)$$

Доказательство. $\liminf_{n \rightarrow \infty} \|w_n - w_{n+1}\| \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} \|w_n - w_{n+1} + Cu_n\| + \|C\|\beta \leq$

$$\leq \|C\|\beta + \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \|w_k - w_{k+1} + Cu_k\|^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \leq \|C\|\beta + \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{n} \|w_0 - x\|^2 + \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \|Cu_k\|^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \leq$$

$$\leq \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{n} \|w_0 - x\|^2 + \frac{1}{n} n \|C\|^2 \beta^2 \right\}^{\frac{1}{2}} + \|C\|\beta = 2\|C\|\beta, \text{ так как } \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \|w_0 - x\|^2 = 0.$$

Отсюда следует (10), и, значит, лемма 2 доказана.

Обе леммы будут использованы при доказательстве следующей теоремы.



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

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

б) если $\varepsilon(\delta, \beta) > \|B\|\delta + 2\|C\|\beta$, то справедлива оценка $m \leq \frac{\|z_0 - x\|^2}{(\varepsilon - \|B\|\delta)(\varepsilon - \|B\|\delta - 2\|C\|\beta)}$;

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

Доказательство. а) По индукции покажем, что

$$z_n = C^n z_0 + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k (C^{-1} B y_\delta + u_{n-k-1}). \quad (11)$$

При $n = 1$ из $z_n = C z_{n-1} + B y_\delta + C u_{n-1}$ имеем $z_1 = C z_0 + B y_\delta + C u_0$, из (11) получим то же самое, т. е. при $n = 1$ формула (11) верна. Предположим, что (11) верна при $n = p$, т.е. $z_p = C^p z_0 + C \sum_{k=0}^{p-1} C^k (C^{-1} B y_\delta + u_{p-k-1})$ и докажем её справедливость при

$n = p + 1$. Имеем

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

Таким образом, справедливость (11) доказана.

Отсюда получим

$$\begin{aligned} w_n &= C^n w_0 + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k (C^{-1} B y + u_{n-k-1}) = C^n w_0 + (E + C + C^2 + \dots + C^{n-1}) B y + \\ &+ C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1} = C^n w_0 + (E - C^n) (E - C)^{-1} (A^* A)^{-1} (E - C) A^* y + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1} = \\ &= C^n w_0 + A^{-1} (E - C^n) y + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1}. \end{aligned}$$



Учитывая, что $z_0 = w_0$, получим

$$\begin{aligned} z_n - z_{n+1} &= C^n z_0 + A^{-1}(E - C^n)y_\delta + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1} - C^{n+1} z_0 - A^{-1}[E - C^{n+1}]y_\delta - \\ &- C \sum_{k=0}^n C^k u_{n-k} = C^n w_0 + A^{-1}(E - C^n)y - A^{-1}(E - C^n)y + A^{-1}(E - C^n)y_\delta + \\ &+ C \sum_{k=0}^{n-1} C^k u_{n-k-1} - C^{n+1} w_0 - A^{-1}(E - C^{n+1})y + A^{-1}(E - C^{n+1})y - A^{-1}(E - C^{n+1})y_\delta - \\ &- C \sum_{k=0}^n C^k u_{n-k} = w_n - w_{n+1} + A^{-1}C^n(E - C)(y_\delta - y) = w_n - w_{n+1} + C^n B(y - y_\delta). \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\|z_n - z_{n+1}\| \leq \|w_n - w_{n+1}\| + \|C^n B(y - y_\delta)\|. \quad (12)$$

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

$$\begin{aligned} \|C^n B(y - y_\delta)\| &= \|C^n \sigma\| = \left\| \int_0^M \frac{1}{(1 + \alpha \lambda^3)^n} dE_\lambda \sigma \right\| \leq \left\| \int_0^{\varepsilon_0} \frac{1}{(1 + \alpha \lambda^3)^n} dE_\lambda \sigma \right\| + \left\| \int_{\varepsilon_0}^M \frac{1}{(1 + \alpha \lambda^3)^n} dE_\lambda \sigma \right\| \leq \\ &\leq \|E_{\varepsilon_0} \sigma\| + q^n \|\sigma\| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty, \varepsilon_0 \rightarrow 0, \quad \text{так как при } \alpha > 0, \lambda \in (0, M] \text{ имеем} \\ &\frac{1}{1 + \alpha \lambda^3} \leq q < 1. \text{ Поэтому (см. лемму 2)} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \|z_n - z_{n+1}\| = \lim_{n \rightarrow \infty} \|w_n - w_{n+1}\| \leq 2\|C\|\beta. \end{aligned}$$

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

б) Рассмотрим последовательность (6) и определим момент останова m' условием

$$\|w_n - w_{n+1}\| > \varepsilon - \|B\|\delta, (n < m'), \|w_{m'} - w_{m'+1}\| \leq \varepsilon - \|B\|\delta. \quad (13)$$

Из (12) следует, что $m \leq m'$. Из леммы 1 при $n = m'$ получим

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{m'} \|w_k - w_{k+1} + Cu_k\|^2 &\leq \|w_0 - x\|^2 + \sum_{k=0}^{m'-1} \|Cu_k\|^2. \text{ Отсюда справедливо} \\ \sum_{k=0}^{m'-1} (\|w_k - w_{k+1}\| - \|C\|\beta)^2 &\leq \|w_0 - x\|^2 + \sum_{k=0}^{m'-1} \|Cu_k\|^2. \end{aligned}$$

Так как по (13) при $n < m'$ имеем $\|w_n - w_{n+1}\| > \varepsilon - \|B\|\delta$, то $m'(\varepsilon - \|B\|\delta - \|C\|\beta)^2 \leq \|w_0 - x\|^2 + m'\|C\|^2\beta^2$. Учитывая, что $w_0 = z_0$ и $m \leq m'$, из по-



следнаго неравенства получим оценку для момента останова

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

в). Докажем, что

$$x = C^n x + \sum_{k=0}^{n-1} BC^k y. \quad (14)$$

Предположим, что (14) верно, тогда

$$\begin{aligned} x - C^n x &= B(E + C + C^2 + \dots + C^{n-1})y, \\ (E - C^n)x &= B(E - C^n)(E - C)^{-1}y, \\ (E - C^n)x &= A^{-1}(E - C)(E - C^n)(E - C)^{-1}Ax, \\ (E - C^n)x &= (E - C^n)x. \end{aligned}$$

Следовательно, предположение верно и справедливость формулы (14) доказана.

Из (11) вычтем (14), получим

$$z_n - x = C^n(z_0 - x) + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k [C^{-1}B(y - y_\delta) + u_{n-k-1}]. \quad (15)$$

Отсюда

$$\Delta_n = C^n \Delta_0 + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k [C^{-1}B(y - y_\delta) + u_{n-k-1}], \text{ где } \Delta_n = z_n - x \text{ и } \Delta_0 = z_0 - x. \text{ Следо-}$$

вательно,

$$\|\Delta_n\| \leq \|C^n \Delta_0\| + (\|B\|\delta + \|C\|\beta)n. \quad (16)$$

В частности, (16) справедливо и при $n = m$. Если $m \rightarrow \infty$ при $\varepsilon, \delta, \beta \rightarrow 0$, тогда, как показано ранее, $\|C^m \Delta_0\| \rightarrow 0, m \rightarrow \infty$. Поэтому для доказательства $\|z_m - x\| \rightarrow 0, \delta \rightarrow 0, \beta \rightarrow 0$ достаточно показать, что $m(\|B\|\delta + \|C\|\beta) \rightarrow 0, m \rightarrow \infty, \delta \rightarrow 0, \beta \rightarrow 0$.

Из (15) получим

$$z_n - z_{n+1} = C^n(E - C)(z_0 - x) - Cu_n - C^n B(y_\delta - y) + C \sum_{k=0}^{n-1} C^k (E - C)u_{n-k-1}. \quad (17)$$

Так как спектр оператора $C = (E + \alpha(A * A)^3)^{-1}$ принадлежит $[0, 1]$, то нетрудно показать, что

$$\|C^n(E - C)\| \leq \frac{1}{n+1}. \quad (18)$$

Поэтому из (17) получим при $n = m - 1$



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

так как $\sum_{k=1}^{m-1} \frac{1}{k} \leq 1 + \ln m$ [4].

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

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

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

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

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

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

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



$m(\|B\|\delta + \|C\|\beta) \rightarrow 0$ при $m \rightarrow \infty$, $\delta, \beta \rightarrow 0$. Отсюда и из неравенства (16) при $m \rightarrow \infty$

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

Теорема доказана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матысик, О.В. О регуляризации операторных уравнений в гильбертовом пространстве / О. В. Матысик // Доклады НАН Беларуси. – 2005. – Т. 49, № 3. – С. 38–43.
2. Емелин, И.В. Правило останова в итерационных процедурах решения некорректных задач / И.В. Емелин, М.А. Красносельский // Автоматика и телемеханика. – 1978. – № 12. – С. 59–63.
3. Савчук, В.Ф. Неявная итерационная процедура решения операторных уравнений в гильбертовом пространстве / В.Ф. Савчук, О.В. Матысик // Доклады НАН Беларуси. – 2006. – Т. 50, № 5. – С. 37–42.
4. Градштейн, И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М. : Наука. – 1971. – 1108 с.

O.V. Matysik, N.A. Derachic. A posteriori Choice of the Number of Iterations in the Implicit Method for Solving Incorrect Tasks.

In the Hilbert space for solving linear operator equations of type I with affirmative limited and self-conjugate operator the implicit iteration method is proposed. The application of the rule of neighboring approximations for the offered method has been proved, which makes viewed iteration method quite effective even when there are no data about source representability of exact solution. In its initial norm of Gilbert space the convergence of the iteration method is proved and the estimation of the moment of stop is received.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 20.09.2011 г.



УДК 513.82

А.А Юдов, Е.Е. Гурская

СВОЙСТВА ПРИСОЕДИНЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГРУППЫ ЛИ ДВИЖЕНИЙ ПРОСТРАНСТВА МИНКОВСКОГО

В данной работе рассматривается группа Ли движений пространства Минковского пространства 1R_4 . Здесь приведены основные сведения из теории группы Ли движений пространства Минковского и описаны подгруппы Ли группы Ли H вращений данного пространства. Рассматриваются подгруппы группы вращений пространства 1R_4 и элементы группы вращений данного пространства, а также исследуются их свойства. В работе находятся образы базисных элементов алгебры Ли группы Ли движений пространства Минковского относительно присоединенного представления данной группы, а также описывается метод их нахождения. Результаты работы находят свое применение при решении различных задач дифференциальной геометрии и теоретической физики.

Пространство Минковского – четырехмерное псевдоевклидово пространство сигнатуры 2, предложенное Германом Минковским в 1908 году в качестве геометрической интерпретации пространства-времени специальной теории относительности.

В данной работе рассмотрено четырехмерное псевдоевклидово пространство сигнатуры 2, т.е. пространство 1R_4 – пространство Минковского. Пусть G – группа Ли движений пространства Минковского, H – группа Ли вращений пространства Минковского, \bar{G} – алгебра Ли группы Ли G , \bar{H} – алгебра Ли группы Ли H .

Группу Ли G движений пространства 1R_4 будем задавать как совокупность мат-

риц вида $a = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ t & A \end{pmatrix}$, где $t = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \end{pmatrix}$, а 4×4 матрица A удовлетворяет условию:

$A\varepsilon_{4,1}A^T = \varepsilon_{4,1}$, где $\varepsilon_{4,1} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$. Алгебра Ли \bar{G} будет задаваться как совокупность

матриц вида: $\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ t & B \end{pmatrix}$, где 4×4 матрица B удовлетворяет условию $B\varepsilon_{4,1} + \varepsilon_{4,1}B = 0$. Точки

пространства 1R_4 будем задавать в виде $\begin{pmatrix} 1 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = x$. Группа G действует в пространстве

1R_4 слева по правилу: $x \rightarrow a \cdot x$.

Группа Ли G является полупрямым произведением группы Ли H стационарности точки пространства 1R_4 и абелевой группы T_4 параллельных переносов пространства 1R_4 : $G = H \otimes T_4$.



Алгебра Ли \bar{G} является полупрямой суммой алгебры Ли \bar{H} группы Ли H и коммутативной алгебры Ли τ_4 группы Ли T_4 : $\bar{G} = \bar{H} \oplus \tau_4$.

Каждый автоморфизм φ группы Ли G индуцирует автоморфизм φ_* ее алгебры Ли \bar{G} . Действительно, если $A \in \bar{G}$, то $\varphi_* A$ снова принадлежит \bar{G} и $\varphi_*[A, B] = [\varphi_* A, \varphi_* B]$ для $A, B \in \bar{G}$. В частности, для каждого $a \in G$ $ad A$, отображающее x в axa^{-1} , индуцирует автоморфизм в \bar{G} , обозначаемый $ad a$. Представление $a \rightarrow ad a$, $a \in G$, называется присоединенным представлением группы G в \bar{G} . Для каждого $a \in G$ и $A \in \bar{G}$ мы имеем $(ad a)A = (L_a)_*(R_{a^{-1}})_* A$, так как $axa^{-1} = L_a R_{a^{-1}} x = R_{a^{-1}} L_a x$ и $A \in \bar{G}$ [1, с. 47].

В данной работе изучается присоединенное представление элементов группы Ли вращений пространства Минковского на элементы алгебры Ли этой группы.

Рассмотрим в пространстве 1R_4 базис $\{e_1, e_2, e_3, e_4\}$, $\bar{e}_1^2 = -1$, $\bar{a}_2^2 = \bar{a}_3^2 = \bar{a}_4^2 = 1$, $(\bar{a}_i, \bar{e}_j) = 0, i \neq j$. Базис $\{i_1, i_2, \dots, i_{10}\}$ в алгебре Ли \bar{G} зададим следующим образом: $i_1 = E_{21}$, $i_2 = E_{31}$, $i_3 = E_{41}$, $i_4 = E_{51}$, $i_5 = E_{23} + E_{32}$, $i_6 = E_{24} + E_{42}$, $i_7 = E_{25} + E_{52}$, $i_8 = E_{34} - E_{43}$, $i_9 = E_{35} - E_{53}$, $i_{10} = E_{54} - E_{45}$, где $E_{\alpha\beta}$ – (5×5) -матрица, у которой в α -й строке и β -м столбце стоит единица, а остальные элементы нули, причем векторы i_5, i_6, \dots, i_{10} образуют базис алгебры Ли \bar{H} группы Ли H , векторы i_1, i_2, i_3, i_4 образуют базис алгебры τ_4 , а операция коммутирования в алгебре Ли \bar{G} задается в виде: $[A, B] = AB - BA$, $A, B \in \bar{G}$.

Рассмотрим связные подгруппы Ли группы Ли G движений пространства 1R_4 . Все связные подгруппы Ли группы Ли G , с точностью до сопряженности, перечислены в работе [2, с. 7]. При этом с точностью до сопряженности получаются 13 подгрупп Ли группы Ли H вращений пространства 1R_4 : $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6, G_7, G_8, G_9, G_{10}, G_{11}, G_{12}, G_{13}$, которые соответствуют алгебрам Ли $\bar{G}_1, \bar{G}_2, \bar{G}_3, \bar{G}_4, \bar{G}_5, \bar{G}_6, \bar{G}_7, \bar{G}_8, \bar{G}_9, \bar{G}_{10}, \bar{G}_{11}, \bar{G}_{12}, \bar{G}_{13}$, при этом алгебры Ли задаются соответственно базисами $\{i_9\}, \{i_6\}, \{i_5 - i_8\}, \{i_9 + \lambda i_6\}, \{i_6, i_9\}, \{i_5 - i_8, i_7 + i_{10}\}, \{i_5 - i_8, i_6\}, \{i_5 - i_8, i_7 + i_{10}, i_6\}, \{i_5 - i_8, i_7 + i_{10}, i_9\}, \{i_5 - i_8, i_7 + i_{10}, i_9 + \lambda i_6\}, \{i_8, i_9, i_{10}\}, \{i_5, i_6, i_8\}, \{i_5 - i_8, i_7 + i_{10}, i_9, i_6\}$.

Тем самым классифицированы с точностью до изоморфизма все однородные пространства со структурной группой G .

При исследовании геометрии пространства Минковского и в теоретической физике применяются подгруппы группы движений этого пространства. Поэтому важным является исследование свойств таких подгрупп. В работе рассматриваются подгруппы группы вращений пространства Минковского и исследуются их свойства.

Рассмотрим следующие подгруппы группы вращений пространства Минковского:



$$g_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ch\varphi & sh\varphi & 0 & 0 \\ 0 & sh\varphi & ch\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; g_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & 0 & 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}; g_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{pmatrix};$$
$$g_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ch\varphi & 0 & sh\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & sh\varphi & 0 & ch\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

и элементы группы вращения:

$$g_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}; g_6 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; g_7 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; g_8 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$
$$g_9 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; g_{10} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; g_{11} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}; g_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Исследуя геометрический смысл элементов g_n , $n=1,2,3,4$ получаем, что данные элементы задают вращения в соответствующих плоскостях: g_1 в плоскости $[e_1, e_2]$; g_2 в плоскости $[e_3, e_4]$; элементы вида g_3 – в плоскости $[e_2, e_4]$; элементы вида g_4 – в плоскости $[e_1, e_3]$.

Аналогично, исследуя геометрический смысл элементов g_m , где $m=5, \dots, 12$, получаем следующие результаты:

- элемент g_5 при действии на базисные вектора алгебры \overline{G} осуществляет следующий перевод векторов: $i_3 \rightarrow -i_3$, $i_4 \rightarrow -i_4$, остальные вектора остаются без изменений;
- элемент g_6 : $i_2 \rightarrow -i_2$, $i_4 \rightarrow -i_4$, $i_3 \rightarrow i_4$, остальные вектора остаются без изменений;
- элемент g_7 : $i_1 \rightarrow -i_1$, $i_2 \rightarrow i_2$, $i_3 \rightarrow i_4$, $i_4 \rightarrow -i_3$, $i_5 \rightarrow -i_5$, $i_6 \rightarrow -i_6$, $i_7 \rightarrow i_6$, $i_8 \rightarrow i_9$, $i_9 \rightarrow i_8$, $i_{10} \rightarrow i_{10}$;
- элемент g_8 : $i_1 \rightarrow -i_1$, $i_5 \rightarrow -i_5$, $i_6 \rightarrow -i_6$, $i_7 \rightarrow -i_7$, остальные вектора остаются без изменений;
- элемент g_9 : $i_3 \rightarrow -i_3$, $i_6 \rightarrow -i_6$, $i_8 \rightarrow -i_8$, $i_{10} \rightarrow -i_{10}$, остальные вектора остаются без изменений;
- элемент g_{10} : $i_3 \rightarrow i_4$, $i_4 \rightarrow i_3$, $i_6 \rightarrow i_7$, $i_7 \rightarrow i_6$, $i_8 \rightarrow i_9$, $i_{10} \rightarrow -i_{10}$, остальные вектора остаются без изменений;
- элемент g_{11} : $i_4 \rightarrow -i_4$, $i_7 \rightarrow -i_7$, $i_9 \rightarrow -i_9$, $i_{10} \rightarrow -i_{10}$, остальные вектора остаются без изменений;
- элемент g_{12} : $i_2 \rightarrow -i_2$, $i_4 \rightarrow -i_4$, $i_5 \rightarrow -i_5$, $i_7 \rightarrow -i_7$, $i_8 \rightarrow -i_8$, $i_{10} \rightarrow -i_{10}$, остальные вектора остаются без изменений.



Рассмотрим для них соответствующее присоединенное представление в алгебре Ли группы Ли движений пространства Минковского и получим действие элементов присоединенной группы на базисные операторы алгебры Ли.

Метод решения таков: для подгруппы g_1 находим обратную матрицу:

$$g_1^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ch\varphi & -sh\varphi & 0 & 0 \\ 0 & -sh\varphi & ch\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \text{ далее вычисляем действия присоединенной группы с по-}$$

мощью элемента g_1 на базисные операторы алгебры:

$$\begin{aligned} g_1 i_1 g_1^{-1} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ch\varphi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ sh\varphi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = ch\varphi \cdot i_1 + sh\varphi \cdot i_2; \quad g_1 i_2 g_1^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ sh\varphi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ch\varphi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = sh\varphi \cdot i_1 + ch\varphi \cdot i_2; \\ g_1 i_3 g_1^{-1} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = i_3; \quad g_1 i_4 g_1^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = i_4; \quad g_1 i_5 g_1^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = i_5; \quad g_1 i_6 g_1^{-1} = \\ &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & ch\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & sh\varphi & 0 \\ 0 & ch\varphi & -sh\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = ch\varphi \cdot i_6 + sh\varphi \cdot i_8; \quad g_1 i_7 g_1^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & ch\varphi \\ 0 & 0 & 0 & 0 & sh\varphi \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ch\varphi & -sh\varphi & 0 & 0 \end{pmatrix} = ch\varphi \cdot i_7 + sh\varphi \cdot i_9; \\ g_1 i_8 g_1^{-1} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & sh\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & ch\varphi & 0 \\ 0 & sh\varphi & -ch\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = sh\varphi \cdot i_6 + ch\varphi \cdot i_8; \quad g_1 i_9 g_1^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & sh\varphi \\ 0 & 0 & 0 & 0 & ch\varphi \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & sh\varphi & -ch\varphi & 0 & 0 \end{pmatrix} = \\ &= sh\varphi \cdot i_7 + ch\varphi \cdot i_9; \quad g_1 i_{10} g_1^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} = i_{10}. \end{aligned}$$

Аналогично, вычисляя действия присоединенной группы с помощью элементов g_k , где $k=2, \dots, 12$ на базисные операторы алгебры, получим следующие результаты:

$$\begin{aligned} g_2 i_1 g_2^{-1} &= i_1; \quad g_2 i_2 g_2^{-1} = i_2; \quad g_2 i_3 g_2^{-1} = \cos \varphi \cdot i_3 + \sin \varphi \cdot i_4; \quad g_2 i_4 g_2^{-1} = -\sin \varphi \cdot i_3 + \cos \varphi \cdot i_4; \\ g_2 i_5 g_2^{-1} &= i_5; \quad g_2 i_6 g_2^{-1} = \cos \varphi \cdot i_6 + \sin \varphi \cdot i_7; \quad g_2 i_7 g_2^{-1} = -\sin \varphi \cdot i_6 + \cos \varphi \cdot i_7; \quad g_2 i_8 g_2^{-1} = \cos \varphi \cdot i_8 + \\ &+ \sin \varphi \cdot i_9; \quad g_2 i_9 g_2^{-1} = -\sin \varphi \cdot i_8 + \cos \varphi \cdot i_9; \quad g_2 i_{10} g_2^{-1} = i_{10}. \\ g_3 i_1 g_3^{-1} &= i_1; \quad g_3 i_2 g_3^{-1} = \cos \varphi \cdot i_2 + \sin \varphi \cdot i_4; \quad g_3 i_3 g_3^{-1} = i_3; \quad g_3 i_4 g_3^{-1} = -\sin \varphi \cdot i_2 + \cos \varphi \cdot i_4; \\ g_3 i_5 g_3^{-1} &= \cos \varphi \cdot i_5 + \sin \varphi \cdot i_7; \quad g_3 i_6 g_3^{-1} = i_6; \quad g_3 i_7 g_3^{-1} = -\sin \varphi \cdot i_5 + \cos \varphi \cdot i_7; \quad g_3 i_8 g_3^{-1} = \cos \varphi \cdot i_8 - \\ &- \sin \varphi \cdot i_{10}; \quad g_3 i_9 g_3^{-1} = i_9; \quad g_3 i_{10} g_3^{-1} = \sin \varphi \cdot i_8 + \cos \varphi \cdot i_{10}. \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}g_4 i_1 g_4^{-1} &= ch\varphi \cdot i_1 + sh\varphi \cdot i_3; & g_4 i_2 g_4^{-1} &= i_2; & g_4 i_3 g_4^{-1} &= sh\varphi \cdot i_1 + ch\varphi \cdot i_3; & g_4 i_4 g_4^{-1} &= i_4; \\g_4 i_5 g_4^{-1} &= ch\varphi \cdot i_5 - sh\varphi \cdot i_8; & g_4 i_6 g_4^{-1} &= i_6; & g_4 i_7 g_4^{-1} &= ch\varphi \cdot i_7 + sh\varphi \cdot i_{10}; & g_4 i_8 g_4^{-1} &= -sh\varphi \cdot i_5 + \\&+ ch\varphi \cdot i_8; & g_4 i_9 g_4^{-1} &= -\sin\varphi \cdot i_8 + \cos\varphi \cdot i_9; & g_4 i_{10} g_4^{-1} &= sh\varphi \cdot i_7 + ch\varphi \cdot i_{10}. \\g_5 i_1 g_5^{-1} &= i_1; & g_5 i_2 g_5^{-1} &= i_2; & g_5 i_3 g_5^{-1} &= -i_3; & g_5 i_4 g_5^{-1} &= -i_4; & g_5 i_5 g_5^{-1} &= i_5; & g_5 i_6 g_5^{-1} &= -i_6; \\g_5 i_7 g_5^{-1} &= -i_7; & g_5 i_8 g_5^{-1} &= -i_8; & g_5 i_9 g_5^{-1} &= -i_9; & g_5 i_{10} g_5^{-1} &= i_{10}. \\g_6 i_1 g_6^{-1} &= i_1; & g_6 i_2 g_6^{-1} &= -i_2; & g_6 i_3 g_6^{-1} &= i_4; & g_6 i_4 g_6^{-1} &= -i_3; & g_6 i_5 g_6^{-1} &= -i_5; & g_6 i_6 g_6^{-1} &= i_7; \\g_6 i_7 g_6^{-1} &= -i_6; & g_6 i_8 g_6^{-1} &= -i_9; & g_6 i_9 g_6^{-1} &= i_8; & g_6 i_{10} g_6^{-1} &= i_{10}. \\g_7 i_1 g_7^{-1} &= -i_1; & g_7 i_2 g_7^{-1} &= i_2; & g_7 i_3 g_7^{-1} &= i_4; & g_7 i_4 g_7^{-1} &= -i_3; & g_7 i_5 g_7^{-1} &= -i_5; & g_7 i_6 g_7^{-1} &= -i_7; \\g_7 i_7 g_7^{-1} &= i_6; & g_7 i_8 g_7^{-1} &= i_9; & g_7 i_9 g_7^{-1} &= -i_8; & g_7 i_{10} g_7^{-1} &= i_{10}. \\g_8 i_1 g_8^{-1} &= -i_1; & g_8 i_2 g_8^{-1} &= i_2; & g_8 i_3 g_8^{-1} &= i_3; & g_8 i_4 g_8^{-1} &= i_4; & g_8 i_5 g_8^{-1} &= -i_5; & g_8 i_6 g_8^{-1} &= -i_6; \\g_8 i_7 g_8^{-1} &= -i_7; & g_8 i_8 g_8^{-1} &= i_8; & g_8 i_9 g_8^{-1} &= i_9; & g_8 i_{10} g_8^{-1} &= i_{10}. \\g_9 i_1 g_9^{-1} &= i_1; & g_9 i_2 g_9^{-1} &= i_2; & g_9 i_3 g_9^{-1} &= -i_3; & g_9 i_4 g_9^{-1} &= i_4; & g_9 i_5 g_9^{-1} &= i_5; & g_9 i_6 g_9^{-1} &= -i_6; \\g_9 i_7 g_9^{-1} &= i_7; & g_9 i_8 g_9^{-1} &= -i_8; & g_9 i_9 g_9^{-1} &= i_9; & g_9 i_{10} g_9^{-1} &= -i_{10}. \\g_{10} i_1 g_{10}^{-1} &= i_1; & g_{10} i_2 g_{10}^{-1} &= -i_2; & g_{10} i_3 g_{10}^{-1} &= i_3; & g_{10} i_4 g_{10}^{-1} &= i_3; & g_{10} i_5 g_{10}^{-1} &= i_5; & g_{10} i_6 g_{10}^{-1} &= i_7; \\g_{10} i_7 g_{10}^{-1} &= i_6; & g_{10} i_8 g_{10}^{-1} &= i_9; & g_{10} i_9 g_{10}^{-1} &= i_8; & g_{10} i_{10} g_{10}^{-1} &= -i_{10}. \\g_{11} i_1 g_{11}^{-1} &= i_1; & g_{11} i_2 g_{11}^{-1} &= i_2; & g_{11} i_3 g_{11}^{-1} &= i_3; & g_{11} i_4 g_{11}^{-1} &= -i_4; & g_{11} i_5 g_{11}^{-1} &= i_5; & g_{11} i_6 g_{11}^{-1} &= i_6; \\g_{11} i_7 g_{11}^{-1} &= -i_7; & g_{11} i_8 g_{11}^{-1} &= i_8; & g_{11} i_9 g_{11}^{-1} &= -i_9; & g_{11} i_{10} g_{11}^{-1} &= -i_{10}. \\g_{12} i_1 g_{12}^{-1} &= i_1; & g_{12} i_2 g_{12}^{-1} &= -i_2; & g_{12} i_3 g_{12}^{-1} &= i_3; & g_{12} i_4 g_{12}^{-1} &= -i_4; & g_{12} i_5 g_{12}^{-1} &= -i_5; & g_{12} i_6 g_{12}^{-1} &= i_6; \\g_{12} i_7 g_{12}^{-1} &= -i_7; & g_{12} i_8 g_{12}^{-1} &= -i_8; & g_{12} i_9 g_{12}^{-1} &= i_9; & g_{12} i_{10} g_{12}^{-1} &= -i_{10}.\end{aligned}$$

Таким образом, исследован геометрический смысл базисных элементов g_s алгебры Ли группы Ли движений пространства Минковского, где $s=1,2,\dots,12$, а также найдены образы данных элементов относительно присоединенного представления данной группы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобаяси, Ш. Основы дифференциальной геометрии : в 2 т. / Ш. Кобаяси, К. Номидзу. – М. : Наука, 1981. – Т. 2. – 413 с.
2. Белько, И.В. Подгруппы группы Лоренца-Пуанкаре / И.В. Белько // Известия Академии наук БССР. Сер. физ.-мат. наук. – 1971. – № 1. – С. 5–13.
3. Хелгасон, С. Дифференциальная геометрия и симметрические пространства / С. Хелгасон. – М. : Мир, 1964. – 533 с.

A.A. Yudov, H.E. Gurskaya. The Properties of the Adjoint Representation of the Lie Group of Motions of the Minkowski Space

The Lie group of motions of the Minkowski space (space 1R_4) is considered in the work. The basics of the theory of the Lie group of motions of the Minkowski space and a subgroup of a Lie group H of rotations of this space are described. We consider the subgroup of rotations of 1R_4 and the elements of the group of rotation of the space and investigate their properties. There we have found images of the basic elements of the Lie algebra of this group under the adjoint representation of the group.



The method of finding such images is described in the article. The results of this work can be used in solving various problems of differential geometry and theoretical physics.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 24.09.2011 г.



УДК 52-34

**В.А. Лиопо, С.С. Липовецкий, С.С. Секержицкий,
В.А. Струк, А.В. Никитин**

МЕТОДЫ СТРУКТУРНОЙ ФИЗИКИ В АСТРОНОМИИ

Рассмотрен метод разбиения космического пространства на зоны влияния отдельных небесных тел с использованием структурных полиэдров Вороного. Предлагается проводить анализ взаимных конфигураций космических объектов на основе этих зон влияния не только по распределению ближайших, но и более отдаленных координаций. Метод Делоне-Галиулина дополнен методом Бриллюэна. Анализ выполнен для двухмерных распределений.

*Пути, которыми люди проникают
в суть небесных явлений, представля-
ются мне почти столь же удивитель-
ными, как и сами эти явления.*

Иоганн Кеплер (1571–1630).

Введение

Еще в сентябре 2001 года на Объединенной научной сессии Отделения общей физики и астрономии Академии наук и Объединенного физического общества Российской Федерации доктором физико-математических наук, профессором Р.В. Галиулиным был прочитан доклад, посвященный описанию кристаллографической модели Вселенной [1]. За прошедшее время не было ни одного серьезного возражения против этой модели, хотя определенные критические замечания (иногда конструктивные, а иногда и нет) были. Все это позволяет считать, что модель имеет право на существование.

На первый взгляд кажется странным, что кристаллография (наука, описывающая закономерности строения кристаллов) может быть применена для анализа строения мира в целом. Космос как система взаимодействующих друг с другом дискретных объектов, находящихся в пространственном континууме, как показал Р.В. Галиулин, имеет определенную аналогию с атомно-молекулярными системами, которые исследуются структурной физикой конденсированного состояния. Объектами этой науки являются различные вещества, но в наиболее полной мере методы структурной физики разработаны для кристаллов.

Симметрия кристаллов. Кристаллы – это атомно-молекулярные системы с решеточной симметрией. Это означает, что для любого направления при наличии соседних двух одинаковых структурно-физических (гомологичных) точек с расстоянием между ними равном a на концах любого отрезка вдоль этого направления длиной $A = na$ находятся гомологичные точки при любых целочисленных значениях n . Кристаллы характеризуются трехмерной трансляционной симметрией, которая в расположении космических объектов отсутствует. Но очевидно, что и для космических объектов, подчиняющихся в своем движении законам физики, существует определенная взаимная упорядоченность.

Мы полагаем, что для изучения взаиморасположения объектов при отсутствии решеточных симметрий применимы методы, используемые при анализе структур некристаллических веществ [2].



Модель Вороного-Дирихле. В начале XX века российским ученым Георгием Феодосьевичем Вороным (1868–1908) был предложен оригинальный метод разбиения пространства на многогранники вокруг находящихся в нем точек любой природы. Суть его метода проиллюстрируем двухмерным примером.

Пусть на плоскости имеется случайное распределение точек. Выберем одну из них (точка A_0 на рис. 1) и соединим ее с соседними точками A_1, A_2, \dots, A_6 . Через середины этих отрезков проведем перпендикулярные им прямые. Пересечение этих нормалей приводит к построению многоугольника (полигона), который и называется полигоном Вороного. Затем аналогичное построение выполняется для точек A_1, A_2 и так далее. Вся плоскость будет разделена на полигоны Вороного.

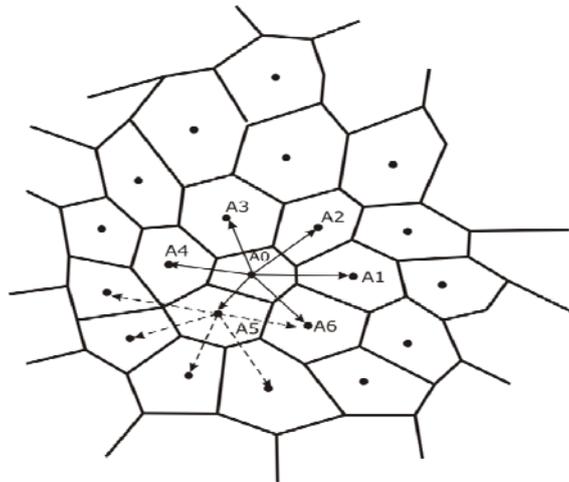


Рисунок 1 – Построение полигонов Вороного

Для пространственного распределения через середины отрезков, соединяющие точки, ближайšie к выбранной, надо проводить нормальные к этим отрезкам плоскости, которые формируют вокруг выбранной точки полиэдр (многогранник) Вороного. Аналогичные построения можно выполнить для всех точек системы. Все непрерывное пространство будет разбито на отдельные полиэдры Вороного, причем, каждый из них включает в себя строго одну точку. При случайном расположении точек полиэдры Вороного имеют различные размеры и формы. Для кристаллов будет получено регулярное чередование одного или нескольких типов полиэдров (рис. 2). Ячейки Вороного (полигоны или полиэдры) для кристалла называются ячейками Вигнера-Зейца.

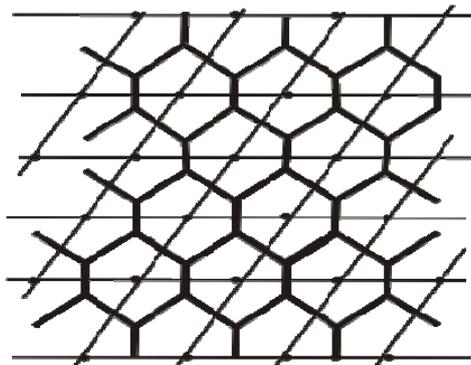


Рисунок 2 – Ячейки Вороного для кристалла
(ячейки Вигнера-Зейца)



Описанную методику разбиения пространства в физическую парадигму ввел Вороной, но идея такого разбиения была высказана ранее математиком Дирихле, поэтому часто используют термин «метод Вороного-Дирихле».

Модель Делоне. Метод Вороного-Дирихле является чисто геометрическим методом, позволяющим «разбить» пространство на своеобразные зоны влияния, расположенных в этом пространстве точек. Для анализа взаимных конфигураций атомов в веществе метод Вороного необходимо расширить, включив в него дополнительные требования. Эта задача была решена выдающимся советским математиком Борисом Николаевичем Делоне [3].

Его метод, названный позднее методом пустого шара Делоне, рассматривает систему точек, удовлетворяющую двум требованиям:

1. В системе Делоне пространство заполнено точками, с определенными промежутками между ними (r). Это свойство названо r -дискретностью.

2. Существует сфера радиуса R , такая, что при построении ее вокруг всех точек системы Делоне пространство будет заполнено без пропусков. Очевидно, при этом возможно перекрывание сфер радиуса R , который отражает так называемую R – однородность. Радиус R называется радиусом сферы однородности. Очевидно, что $R \geq r$

Эти сферы могут быть построены не только для твердых тел, в которых атомы можно рассматривать как неподвижные, но и для жидкостей и даже для газов. В газах и жидкостях система Делоне носит динамический характер, что дает возможность говорить о своеобразном газе Делоне. Метод Делоне получил в настоящее время широкое признание, так как позволяет строить многогранники, заполняющие пространство без пропуска. Этот метод является очень продуктивным для физики конденсированных сред. В частности для любых атомно-молекулярных систем он позволяет выбрать репрезентативный объем для получения численных экспериментальных или теоретических значений соответствующих параметров [4].

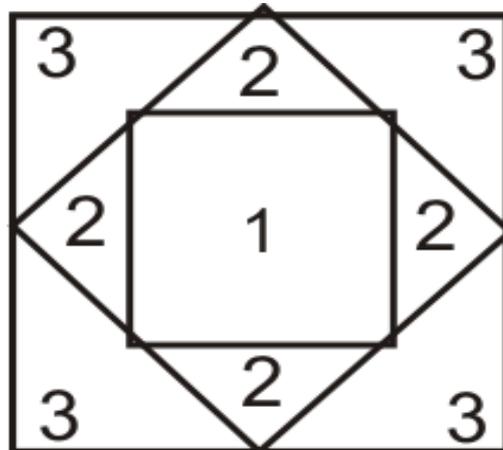
Осуществить разбиение пространства можно как методом Вороного, так и на основе метода Делоне. При этом применима следующая модель. Каждая точка в двумерном случае является центром окружности (в трехмерном – сферы) малого радиуса, которую можно раздувать. Окружность будет сохранять свою форму до тех пор, пока не станет касаться другой окружности, раздуваемой вокруг другой точки. При дальнейшем раздувании окружности они преобразуются в полигоны, сферы – в полиэдры. Плоскость будет заполнена полигонами, при этом возникнет либо газ Делоне (рисунок 1), либо правильная система Делоне (рисунок 2), которые соответствуют случайному или регулярному распределению точек. Принципиальное различие методов Делоне и Вороного в том, что в методе Вороного рассматривается только геометрическое распределение точек, тогда как в методе Делоне можно учесть их физическую природу. Для иллюстрации приведем пример ионного кристалла (A^+B^-). Анионы (B^-), как правило, имеют большие размеры, поэтому правильная система Делоне строится для них. Сферы раздуваются вокруг анионов до тех пор, пока они не станут касаться друг друга. Затем создается правильная система раздуванием сфер вокруг катионов до тех пор, пока полиэдрами Делоне не будет заполнено все пространство. Эту модель можно видоизменить, придав сферам различные коэффициенты растяжения в зависимости от сорта атома. Метод Делоне является развитием метода Вороного, так как отражает не только расположение точек, но и их физические особенности. Если полиэдры Делоне будут строиться для небесных тел, то коэффициенты растяжения шаров Делоне должны быть тем меньше, чем больше масса небесного тела.



Геометрические модели вселенной. Еще в глубокой древности люди пытались понять природу мира, отыскивая во взаиморасположении и в движении небесных тел геометрические соотношения.

Увидеть единство в движении небесных тел пытались многие мыслители средневековья. Особенно эти тенденции усилились после появления в 1543 году работы Николая Коперника «Об обращении небесных сфер». Общая теория движения космических объектов заложена в 1714 году Исааком Ньютоном в его «Математических началах натуральной философии». Но еще до Ньютона Иоганн Кеплер сделал попытку придать солнечной системе геометрическую завершенность. При этом он исходил из странной, с современной точки зрения, идеи о связи между числом планет, равным шести, и числом правильных многогранников, называемых платоновыми телами и сферой [2]. Таких многогранников пять: тетраэдр, гексаэдр (куб), октаэдр, додекаэдр и икосаэдр. По сути дела, это было предположение о геометрическом принципе взаиморасположения планет в соответствии с симметрией правильных многогранников, или, выражаясь современным языком, в соответствии с кристаллографической симметрией. Дальнейшее развитие астрономии показало, что идея Кеплера неверна, так как планет больше пяти, но его третий закон справедлив до сих пор, так как лег в основу теории Ньютона.

Ячейки Вигнера-Зейца. Указанные ранее методы построения полигонов для двумерных распределений объектов различного типа позволяют с большей наглядностью анализировать взаимное расположение (или взаимную конфигурацию) этих объектов по сравнению с обычным координатным методом. Эти полиэдры могут описать изменение взаимной конфигурации объекта в динамической системе относительно ближайших соседей. Но аналогичное построение можно провести и для последующих конфигураций. В этом случае после построения полигона Вороного или Делоне следует повторить процедуру построения полигона для объектов ближайших к соседям рассматриваемого объекта. Этот метод широко используется в физике кристаллов. Строятся такие полигоны в обратной решетке (или в пространстве волнового вектора) относительно начала координат обратного пространства и известны под названием зон Бриллюэна [5]. Принцип построения зон Бриллюэна приведен на рисунке 3 для простейшего случая – тетрагональной плоской сетки.



1 – первая зона; 2 – вторая зона; 3 – третья зона

Рисунок 3 – Принцип построения зон Бриллюэна

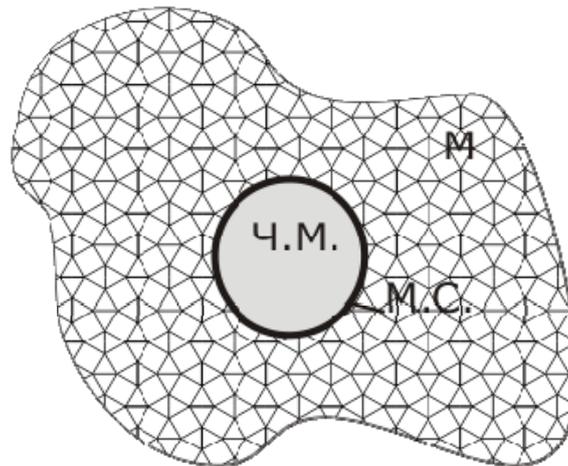


В этом примере ячейка Вигнера-Зейца с порядком n находится внутри ячейки с порядком $N > n$. Для более сложной сетки ячейки разных порядков могут перекрываться или не иметь общих точек.

Очевидно, что для регулярных сеток (плоских решеток) зоны Бриллюэна, построенные для разных узлов решетки, будут совершенно одинаковыми, так как в решетке имеется трансляция.

Композиционные материалы. Композиционные материалы или композиты в предыдущем столетии вызывали активный интерес у специалистов в областях физики конденсированного состояния. Эти вещества в зависимости от их компонентов меняли свойства с учетом их применения. Структуру композита можно описать следующей моделью.

Любой композит создается на основе определенного материала (например, полимера, цементного раствора, глины и т.п.), который так и называется основа, либо связующая матрица. В это связующее вещество вносятся частицы другого вещества, называемого наполнителем. Частицы наполнителя могут представлять собой смесь различных веществ, одни из которых влияют, например, на твердость, другие – на трибологические свойства поверхности, третьи – на цвет и т.д. Частица наполнителя влияет на взаимную конфигурацию и структурно-энергетические свойства молекул основы.



М-матрица основы; Ч.Н. – частица наполнителя;
М.С. – модифицированный слой

Рисунок 4 – Фрагмент композита

Наполнитель изменяет (модифицирует) физические (и технологические) характеристики вещества основы. Частицы наполнителя-модификатора создают вокруг себя модифицированный слой, влияющий на свойства композита, которые могут существенно отличаться от аналогичных свойств основы.

Космическая модель Делоне-Галиулина. Вернемся к модели Делоне-Вороного и рассмотрим ее применимость для распределения космических объектов. Планеты, кометы, звезды галактики можно рассматривать как совокупность точек, заполняющих пространство Вселенной. Либо в качестве таких точек могут быть взяты сложные объекты: планетные системы, звездные скопления, галактики и др.



Следовательно, распределение космических объектов во Вселенной подобно распределению частиц наполнителя в непрерывной (континуальной) матрице основы. В наиболее выраженной форме сходство распределения космических тел с распределением точек подчеркнул Р.В. Галиулин. Он же впервые указал на возможность применения кристаллографических методов при исследовании Вселенной. Как и в «классических» композитах космос является континуальной основой. Космические объекты, как и частицы наполнителя, являются дисконтинуальной субстанцией. Причем все они, обладая массой, существенно влияют на свойства матрицы, изменяя характеристики пространства, создавая гравитационные поля. Пространство перестает быть прямым, а становится искривленным. Если в свободном космосе пространство однородно и изотропно, то есть на объект с массой m внешние силы не действуют, то в «модифицированном» космическом слое вокруг объекта с массой M на объект с массой m будет действовать сила

$$F_M^m = \gamma \frac{mM}{r^2}, \quad (1)$$

где r – расстояние между центрами масс рассматриваемых объектов, γ – гравитационная постоянная.

Итак, звездное небо можно представить как поверхность, на которой распределены точки, соответствующие определенным объектам. Для этих точек можно построить распределение полигонов Вороного-Делоне. Следовательно, будет получен космический газ Делоне. В отличие от привычного нам газа, в этом газе изменения носят не случайный характер, а подчиняются законам движения небесных тел. При анализе в динамической системе полигонов газа Вороного-Делоне будет наблюдаться определенная закономерность, а значит симметрия. Если в качестве отдельных точек взять более крупные космические объекты, например звездные системы или галактики, то взаимное расположение этих точек будет меняться в значительно меньшей степени, чем взаиморасположение планет. Но в обоих случаях эти системы точек являются устойчивыми. Для звездных систем эта устойчивость взаиморасположения статическая, а внутри этих космических объектов она является динамической.

Суммарная действующая сила для большинства космических объектов равна нулю. В противном случае Вселенная была бы неустойчивой и за миллиарды лет ее существования давно бы произошла релаксация. Распределение объектов Вселенной соответствует распределению атомов в силовом поле вещества, в котором атомы находятся именно в условиях равенства нулю всех действующих на них сил.

Применив метод Вороного для разбиения небесного свода на ячейки влияния отдельных объектов, как это предложил Р.В. Галиулин, можно исследовать динамику процессов на основе анализа газа Делоне. Мы полагаем, что этот метод может оказаться более продуктивным при исследовании отдельных объектов, то есть при анализе изменений его полигона влияния. Ячейка отдельного объекта строится с учетом характеристик соседних точек, между которыми проводится граница. Если расстояние между объектами равно R (рисунок 5), а их массы равны m и M , то границу раздела определяет та часть пространства, которая находится под влиянием соответствующей точки. На рисунке 5 граница раздела соответствует точке на прямой, соединяющей центры масс m и M при выполнении условия:



$$\frac{m}{x^2} = \frac{M}{(R-x)^2}, \quad (2)$$

где R – расстояние между центрами масс, x – расстояние до границы ячейки от центра меньшей массы.

То есть

$$x = R \left(1 + \sqrt{\frac{M}{m}} \right)^{-1}. \quad (3)$$

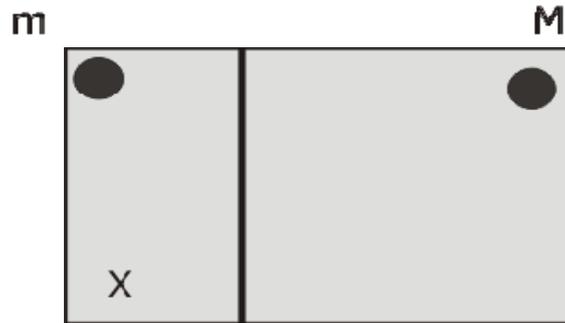
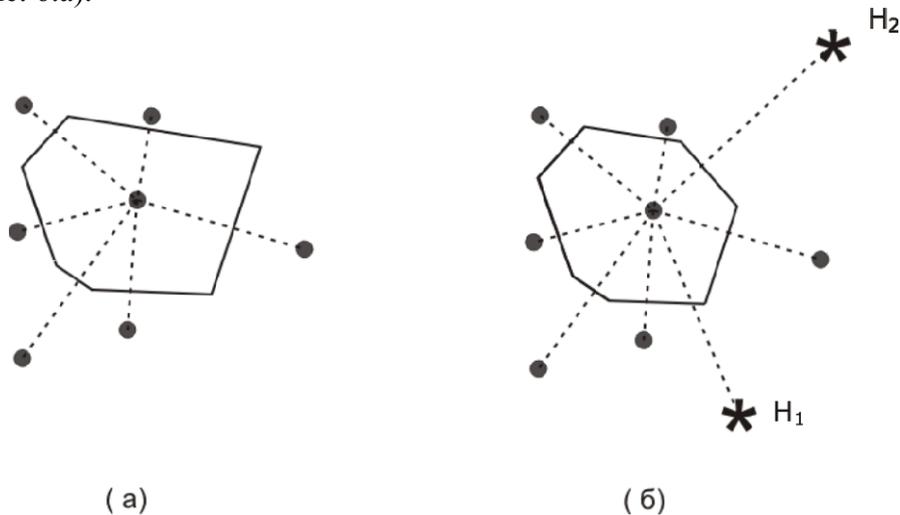


Рисунок 5 – Положение границы раздела в зависимости от масс m и M

Следовательно, на расстояниях до m , удовлетворяющих условию $r < x$, пространство «модифицировано» массой m , при $r - x$ – массой M . Рассмотрев ближайшие к m соседние точки и учитывая их массы, получим ячейку, «модифицированную» массой m (рис. 6.а).



(а)

(б)

(H) с большой массой: а – учет ближайших соседей;

б – учет ближайших соседей и более удаленных с большей массой объектов

Рисунок 6 – Иллюстрация влияния на форму полигона массы m более удаленных объектов

Однако, если имеются более удаленные объекты с большой массой H_1 и H_2 на рис. 6.б), то они могут изменить «ячейку влияния» массы m . Если анализируются



положения объектов именно как положения точек, то изменения их взаимного расположения будут менее наглядными по сравнению с анализом изменения формы полигона, который учитывает не только влияние соседей ближайшей конфигурации, но и объектов более удаленных. При этом надо учитывать следующее:

Во-первых, методика влияния ячейки отдельного объекта является чисто геометрической, так как позволяет увидеть происходят ли изменения конфигурации выделенного объекта относительно других объектов.

Во-вторых, границу x (см. (3)) можно взять в другой форме, например:

$$x = R \left(1 + \frac{M}{m} \right)^{-1}. \quad (4)$$

В-третьих, наряду с массами объектов, которые зачастую трудно определить, для построения границ ячеек влияния данного объекта можно использовать и другие характеристики объектов, например, их яркость (S). В этом случае расстояние от анализируемой точки до границы ее зоны (x) может быть определено условием:

$$x = R \left(1 + \frac{S_2}{S_1} \right)^{-1}. \quad (5)$$

И последнее, но очень важное обстоятельство, связано с тем, что расстояние от точки наблюдения до исследуемых объектов различно, хотя в указанной методике полагается, что все эти объекты находятся на поверхности небесной сферы. Описанная методика дает возможность установить, происходят ли изменения конфигурации изучаемого объекта относительно других.

Заключение

При исследовании систем, которые можно представить как распределение дискретных объектов в непрерывной среде с учетом, что эти объекты влияют на эту среду, изменяя ее свойства, используется метод Вороного-Делоне. В обоих случаях вокруг отдельного объекта строится полиэдр, в трехмерном пространстве или полигон на поверхности распределения объектов. Эти методы позволяют в рассматриваемом пространстве выделить область влияния случайного объекта на свойства этого пространства. Например, в композитах найти область влияния частицы модификатора на вещество основы композита. Для космических объектов эта область определяет часть пространства, где вектор напряженности гравитационного поля направлен в сторону анализируемого объекта. Вместо массы можно учесть другие параметры, например, яркость объекта.

Предлагаемая методика позволяет получить информацию об изменении взаимной конфигурации объектов с более высокой чувствительностью по сравнению с координатным методом.

Сведения, полученные об особенностях изменений взаимной конфигурации объектов, являются обоснованием для проведения дополнительных исследований по выявлению причин этих изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галиулин, Р.В. Кристаллографическая модель Вселенной / Р.В. Галиулин // УФН, 2002. – Т. 172. – № 2. – С.229–233.
2. Галиулин, Р.В. Кристаллографическая картина мира / Р.В. Галиулин, В.А.Лиопо // Альфа, 2003. – № 1. – С.3–11.



3. Скворцов, А.В. Триангуляция Делоне и ее применение / А.В. Скворцов. – Томск : Изд. Томс. гос. ун-т, 2002. – 146 с.
4. Лиопо, В.А. Термодинамика в материаловедении / В.А. Лиопо, В.А. Струк. – Гродно : Изд. ГрГУ, 1999. – 117 с.
5. Ашкроф, Н. Физика твердого тела / Н. Ашкроф, Н. Мермин. – М. :МИР, 1979. – Т. 2. – 422 с.

V.A. Liopo, S.S. Lipavetski, S.S. Sekerzhitsky, V.A. Struk, A.V. Nikitin. Structural Physical Methods in Astronomy

The method of partitioning space into zones of influence of individual celestial bodies with the use of structural Voronoi polyhedra is considered. It is proposed to analyze the mutual configurations of space objects based on these zones of influence not only on the distribution of the nearest, but more distant coordination. The method of Delaunay-Galiulin is supplemented by Brillouin scattering. The analysis is performed for two-dimensional distributions.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 19.05.2011 г.



УДК 537.312.62; 538.945

А.Ф. Ревинский

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЛИАШБЕРГА ДЛЯ СВЕРХПРОВОДНИКА MgB_2

В приближении сильного электрон-фононного взаимодействия изучено сверхпроводящее состояние MgB_2 . Численными методами решены интегральные уравнения Элиашберга, получена ширина запрещенной зоны для сверхпроводящего состояния.

Введение

Диборид магния MgB_2 привлекает особое внимание исследователей, благодаря весьма редкому сочетанию в нем простой кристаллической структуры, построенной из легких атомов магния и бора и высокотемпературной сверхпроводимости ($T_c = 39K$) [1]. Всплеск интереса к данному соединению произошел после открытия В. Мошалоковым и др. [2] в MgB_2 т.н. сверхпроводимости полупорного типа. Вместе с тем до сих пор остается открытым вопрос о механизме сверхпроводимости в MgB_2 [3;4].

В настоящей работе в рамках модели сильного электрон-фононного взаимодействия сделаны расчеты ширины энергетической щели в сверхпроводящем состоянии в температуры сверхпроводящего перехода для MgB_2 .

Формализм функций Грина. Нормальный металл

Одночастичная функция Грина

$$G_s(\vec{r}_1, t_1; \vec{r}_2, t_2) = -i \langle 0 | \hat{T} \{ \psi_s(\vec{r}_1, t_1) \psi_s^+(\vec{r}_2, t_2) \} | 0 \rangle \quad (1)$$

имеет следующий физический смысл. Если в момент времени t_1 в систему в основном состоянии $|0\rangle$ добавить частицу в точку \vec{r}_1 , то функция Грина (1) определяет амплитуду вероятности того, что в момент времени t_2 система будет находиться в основном состоянии с добавленной частицей в точке \vec{r}_2 . Здесь ψ_s и ψ_s^+ – операторы поля, \hat{T} – хронологический оператор Дайсона.

Воспользуемся данными функциями Грина для построения многочастичной теории электрон-фононного взаимодействия. Гамильтониан Фрелиха можно представить в виде трех слагаемых [5]:

$$\hat{H} = \hat{H}_e + \hat{H}_{ph} + \hat{H}_{e-ph}, \quad (2)$$

где

$$\hat{H}_e = \sum_{\vec{k}} \varepsilon_{\vec{k}} C_{\vec{k}} C_{\vec{k}}^+ \quad (3)$$

представляет собой электронную часть гамильтониана (2),

$$\hat{H}_{ph} = \sum_{\vec{q}, j} \omega(\vec{q}, j) \left(\hat{b}_{\vec{q}, j}^+ \hat{b}_{\vec{q}, j} + \frac{1}{2} \right) \quad (4)$$



– фононную, а третий член в (2)

$$\hat{H}_{e-ph} = \sum_{\vec{k}, \vec{q}, j} g_{\vec{k}+\vec{q}, \vec{k}}^{\vec{q}j} \hat{C}_{\vec{k}+\vec{q}}^+ \hat{C}_{\vec{k}} \left(\hat{b}_{-\vec{q}j}^+ + \hat{b}_{\vec{q}j} \right) \quad (5)$$

является гамильтонианом электрон-фононного взаимодействия.

Здесь $\hat{C}_{\vec{k}}^+$, $\hat{C}_{\vec{k}}$, $\hat{b}_{\vec{q}j}^+$, $\hat{b}_{\vec{q}j}$ – операторы рождения и уничтожения электронов в состоянии $|\vec{k}\rangle$ и фононов в состоянии $|\vec{q}, j\rangle$ соответственно.

Для нахождения функций Грина (1) существует несколько подходов [5]. Наиболее распространенным является диаграммный подход Фейнмана [6]. В частности, для взаимодействующего ферми-газа имеем следующую диаграмму [6]:

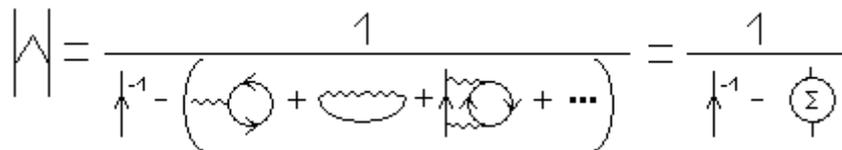


Рисунок 1 – Диаграмма Фейнмана для неидеального ферми-газа

Данная диаграмма называется собственно-энергетической, т.к. она иллюстрирует, в частности, взаимодействие электрона с окружающей средой в кристалле. На основании использования данной диаграммы в рамках теории возмущений получаем т.н. уравнение Дайсона для функции Грина [5]. Другими словами, графикам на рисунке 1 соответствует конкретное аналитическое выражение:

$$G(\vec{k}, \omega) = G_0(\vec{k}, \omega) + G(\vec{k}, \omega) \hat{\Sigma}(\vec{k}, \omega) G_0(\vec{k}, \omega) \quad (6)$$

где $\hat{\Sigma}(\vec{k}, \omega)$ – т.н. массовый оператор, описывающий обобщенное усредненное поле, действующее на электрон. Данное поле обусловлено взаимодействием электрона с остальными частицами среды. Здесь $G_0(\vec{k}, \omega)$ – фурье-трансформанта функции Грина (1) для т.н. «голой» частицы. Вектор \vec{k} – описывает пространственную дисперсию, величина ω – временную. $G(\vec{k}, \omega)$ – фурье-трансформанта квазичастицы, возникновение которой обусловлено воздействием окружающей среды. В частности, электрон в кристалле рассматривается как квазичастица с некоторой эффективной массой, отличной от массы покоя электрона.

Рассматривая кристалл как систему, состоящую из электронной и фононной подсистем, электронную и фононную компоненты функции Грина можно выразить через собственно-энергетическую часть из уравнения Дайсона (6). Электронная часть функции Грина [7] равна:



$$G^{-1}(\vec{k}, \omega) = G_0^{-1}(\vec{k}, \omega) - \sum(\vec{k}, \omega). \quad (7)$$

Фононная часть функции Грина:

$$D^{-1}(\vec{k}, \omega) = D_0^{-1}(\vec{q}, j, \omega) - \Pi(\vec{q}, j, \omega). \quad (8)$$

При этом функция $G_0(\vec{k}, \omega)$ определяется гамильтонианом (3), функция $D_0(\vec{q}, j, \omega)$ – гамильтонианом (4) [7]:

$$G_0(\vec{k}, \omega) = \frac{1}{\omega - \varepsilon_{\vec{k}} + i\eta_{\vec{k}}}, \quad (9)$$

$$D_0(\vec{q}, j, \omega) = \frac{2\omega(\vec{q}, j)}{\omega^2 - \omega^2(\vec{q}, j) + i\eta_{\vec{q}}}. \quad (10)$$

Видно, что свободные функции Грина $G_0(\vec{k}, \omega)$ и $D_0(\vec{q}, j, \omega)$ имеют полюсы при $\omega = \varepsilon_{\vec{k}}$ и $\omega = \omega(\vec{q}, j)$. Здесь частота ω имеет размерность энергии ($\hbar_1 = 1$). Полюсы функций Грина появляются в том случае, если величина ω равна энергии возбуждения системы при добавлении одной частицы. Величина, обратная $\eta_{\vec{k}}$, определяет время жизни квазичастицы.

Сверхпроводящее состояние. Уравнения Элиашберга

В рамках теории электрон-фононного взаимодействия при образовании сверхпроводящего состояния в металлах определяющими являются только два вида взаимодействия: кулоновское и электрон-фононное. Тогда гамильтониан взаимодействия для сверхпроводящей фазы равен сумме двух гамильтонианов:

$$\hat{H}_{\text{int}} = \hat{H}_{\text{int}}^c + \hat{H}_{\text{int}}^{e-ph}. \quad (11)$$

Здесь кулоновский гамильтониан равен [7]:

$$\hat{H}_{\text{int}}^c = \frac{1}{2} \sum_{\vec{k}, \vec{k}', \vec{q}} \langle \vec{k} + \vec{q}, \vec{k}' - \vec{q} | V^c | \vec{k}, \vec{k}' \rangle \left(\Psi_{\vec{k}+\vec{q}}^+ \hat{\tau}_3 \Psi_{\vec{k}} \right) \left(\Psi_{\vec{k}'-\vec{q}}^+ \hat{\tau}_3 \Psi_{\vec{k}'} \right). \quad (12)$$

Соответственно гамильтониан электрон-фононного взаимодействия запишется в виде [7]:

$$\hat{H}_{\text{int}}^{e-ph} = \sum_{\vec{k}-\vec{k}'=\vec{q}} \sum_j g_j(\vec{k}, \vec{k}') \left(\Psi_{\vec{k}}^+ \hat{\tau}_3 \Psi_{\vec{k}'} \right) \left(\hat{b}_{\vec{q}j} + \hat{b}_{-\vec{q}j} \right), \quad (13)$$

$$\text{где } g_j(\vec{k}, \vec{k}') = \sum_{\chi} \frac{1}{\sqrt{2NM_{\chi} \omega(\vec{q}, j)}} \langle \vec{k} | \hat{\epsilon}_{\vec{q}, \chi} | \vec{k}' \rangle \vec{\nabla} U_{\chi}(\vec{r}) | \vec{k}' \rangle e^{i\vec{q}\vec{R}(\xi, \chi)}. \quad (14)$$



Здесь $\tau_3 = \begin{pmatrix} \hat{1} & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$ – матрица Паули, $\vec{\epsilon}_j$ – вектор поляризации j -той фононной моды, $\vec{\nabla}U_\chi(\vec{r})$ – градиент т.н. деформационного потенциала, обусловленного смещением χ -того атома ξ -той ячейки, M_χ – масса χ -того атома.

Из формулы (14) видно, что матричный элемент электрон-фононного взаимодействия $g_j(\vec{k}, \vec{k}')$ выражен через взаимодействие электрона с положительным ионом.

Функция Грина для сверхпроводника находится, как правило, при помощи диаграммной техники Фейнмана, рассмотренной нами выше (см. рисунок 1). Диаграмма Фейнмана для системы только с кулоновским отталкиванием электронов и электрон-фононным взаимодействием выглядит следующим образом [7]:

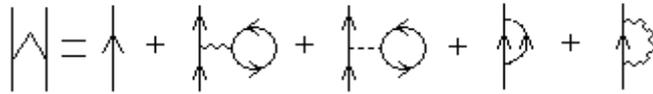


Рисунок 2 – Диаграмма Фейнмана для сверхпроводящего состояния

В рамках подхода Горькова–Намбу [7] операторы поля $\Psi_{\vec{k}}^+$ и $\Psi_{\vec{k}}$ в (13) можно представить в виде матриц:

$$\begin{aligned} \Psi_{\vec{k}}^+ &= (\psi_{\vec{k}\uparrow}^+, \psi_{-\vec{k}\downarrow}^+) \\ \Psi_{\vec{k}} &= \begin{pmatrix} \psi_{\vec{k}\uparrow} \\ \psi_{-\vec{k}\downarrow} \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (15)$$

Следует отметить, что в (15) автоматически уже заложены т.н. куперовские пары, которые образуют электроны с обратно направленными спинами (синглетное состояние).

Раскладывая функцию Грина в ряд Фурье по дискретным (матцубаровским) частотам

$$\omega_n = (2n+1)\pi \cdot T, \quad (16)$$

собственно–энергетические части для электронов и фотонов запишутся в виде [7]:

$$\Sigma(\vec{k}, \omega_n) = -\hat{T} \sum_{n'} \int \frac{d\vec{k}'}{(2\pi)^3} \hat{\tau}_3 G(\vec{k}', \omega_{n'}) \cdot \hat{\tau}_3 V^c(\vec{k} - \vec{k}'), \quad (17)$$

$$\Pi(\vec{k}, \omega_n) = -\hat{T} \sum_{n'} \int \frac{d\vec{k}'}{(2\pi)^3} \hat{\tau}_3 G(\vec{k}', \omega_{n'}) \cdot \hat{\tau}_3 \sum_j D_0(\vec{q}, j, \omega_n - \omega_{n'}) \cdot [g_j(\vec{k}, \vec{k}')]^2. \quad (18)$$

Здесь $G(\vec{k}', \omega_{n'})$ – матричная электронная функция Грина, $\Sigma(\vec{k}, \omega_n)$ – ее собственно-энергетическая часть. Аналогично $D_0(\vec{q}, j, \omega_n - \omega_{n'})$ – фононная функция Грина, $\Pi(\vec{k}, \omega_n)$ – ее собственно-энергетическая часть.



Для сверхпроводника

$$\sum(\vec{k}, \omega_n) = \Pi(\vec{k}, \omega_n) + \sum_0(\vec{k}, \omega_n). \quad (19)$$

Следует отметить, что уравнения Элиашберга (17) и (18) достаточно хорошо изучены именно в точках мнимой оси на матцубаровских частотах [5,6]. При этом в случае слабого электрон-фононного взаимодействия теория Элиашберга переходит в теорию Бардина–Купера–Шриффера [5]. Однако диборид магния, по всей видимости, относится к сверхпроводникам с сильной электрон-фононной связью. Для нахождения спектров возбуждения такого рода сверхпроводников необходимо знать решение уравнений Элиашберга на действительной оси ω .

Для аналитического продолжения уравнений Элиашберга из верхней полуплоскости ω на действительную ось необходимо использовать подстановку

$$i\omega_n \Rightarrow \omega + i\eta. \quad (20)$$

Тогда, вводя спектральную функцию электрон-фононного взаимодействия

$$\alpha^2(\vec{k}, \vec{k}') F(\vec{k} - \vec{k}', \Omega), \quad (21)$$

электронную собственно-энергетическую часть (17) с учетом (20) перепишем в виде [8]:

$$\begin{aligned} \sum(\vec{k}, \omega) = & - \int \frac{d\vec{k}'}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d\Omega}{2\pi} \alpha^2(\vec{k}, \vec{k}') F(\vec{k} - \vec{k}', \Omega) \times \\ & \times \int_{-\infty}^{\infty} d\omega' \hat{\tau}_3 \text{Im} G(\vec{k}, \omega') \hat{\tau}_3 \frac{th \frac{\omega'}{2T} + cth \frac{\Omega}{2T}}{\omega - \Omega - \omega' + i\eta}. \end{aligned} \quad (22)$$

В выражении (21) функция $F(\vec{k} - \vec{k}', \Omega)$ представляет собой спектральную плотность фононных состояний. Полученные интегральные уравнения Элиашберга (22) с математической точки зрения являются трудно разрешимыми. В работе [8] был сделан очередной шаг по упрощению интегральных уравнений (22). Для частного случая $T = 0$ были получены уравнения Элиашберга (22) в виде:

$$\begin{aligned} \Delta(\omega) = & \frac{\int_{\Delta_0}^{\infty} d\omega' \text{Re} \frac{\Delta(\omega')}{[\omega'^2 - \Delta^2(\omega')]^{1/2}} K_s(\omega', \omega)}{1 + \int_{\Delta_0}^{\infty} d\omega' \text{Re} \frac{\omega'}{[\omega'^2 - \Delta^2(\omega')]^{1/2}} K_n(\omega', \omega)} + \\ & + \frac{i\pi \int_0^{\omega} d\omega' \alpha^2(\omega - \omega') F(\omega - \omega') \frac{\Delta(\omega') - \Delta(\omega) \frac{\omega'}{\omega}}{[\omega'^2 - \Delta^2(\omega')]^{1/2}}}{1 + \int_{\Delta_0}^{\infty} d\omega' \text{Re} \frac{\omega'}{[\omega'^2 - \Delta^2(\omega')]^{1/2}} K_n(\omega', \omega)}, \end{aligned} \quad (23)$$

где т.н. фредгольмовские ядра K_s и K_n равны соответственно:



$$K_s(\omega', \omega) = \int_{\omega}^{\infty} d\Omega \alpha^2(\Omega) F(\Omega) \left[\frac{1}{\omega' + \Omega + \omega} + \frac{1}{\omega' + \Omega - \omega} \right] + \int_0^{\omega} d\Omega \alpha^2(\Omega) F(\Omega) \left[\frac{1}{\omega' + \Omega + \omega} - \frac{1}{\omega' - \Omega + \omega} \right], \quad (24)$$

$$K_n(\omega', \omega) = -\frac{1}{\omega} \int_{\omega}^{\infty} d\Omega \alpha^2(\Omega) F(\Omega) \left[\frac{1}{\omega' + \Omega + \omega} + \frac{1}{\omega' + z - \omega} \right] - \frac{1}{\omega} \int_0^{\omega} d\Omega \alpha^2(\Omega) F(\Omega) \left[\frac{1}{\omega' + z + \omega} - \frac{1}{\omega' - z + \omega} \right]. \quad (25)$$

В интегральном уравнении (23) искомой функцией является ширина энергетического зазора $\Delta(\omega)$ в спектре элементарных возбуждений сверхпроводника.

Расчет ширины энергетического зазора сверхпроводника MgB_2

Численное решение уравнений Элиашберга (23), (24) и (25) проводилось ранее только для модельной спектральной функции электрон-фононного взаимодействия [8]. Представляет несомненный интерес провести решение данных уравнений для конкретного сверхпроводника с сильным электрон-фононным взаимодействием, в частности, для диборида магния.

Ранее [9] нами были проведены расчеты из первых принципов зонной структуры и фононного спектра $F(\Omega)$ MgB_2 , а также спектральной функции электрон-фононного взаимодействия $\alpha^2(\Omega) \cdot F(\Omega)$. На рисунке 3 представлена данная функция $\alpha^2(\Omega) \cdot F(\Omega)$ для MgB_2 . Здесь частота Ω представлена в единицах дебаевской частоты $\bar{\omega}$. Для MgB_2 $\bar{\omega} = 55,3 \text{ } \dot{\gamma} \hat{A}$. Рассчитаны значения константы электрон-фононного взаимодействия равно

$$\lambda = 2 \int_0^{\infty} \frac{\alpha^2(\Omega) F(\Omega)}{\Omega} d\Omega = 0,77.$$

(26)

Численное решение интегральных уравнений Элиашберга с использованием указанной выше функции $\alpha^2(\Omega) \cdot F(\Omega)$ проводилось в рамках методики, разработанной

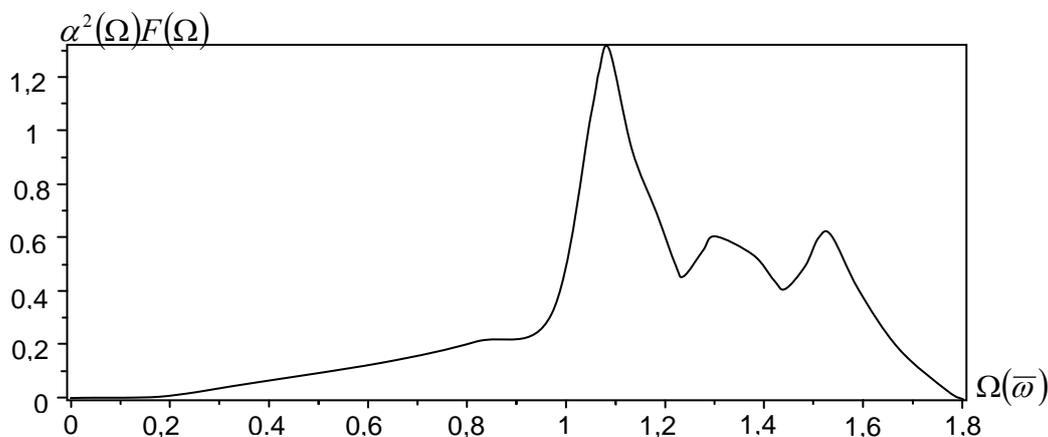


Рисунок 3 – Спектральная функция $\alpha^2(\Omega)F(\Omega)$ MgB_2



В.В. Морозовым [10].

Известно [3], что сверхпроводник MgB_2 является двухзонным сверхпроводником. В сверхпроводящем состоянии имеются два энергетических зазора: $\Delta_0^\pi = 0,3\bar{\omega}$ и $\Delta_0^\sigma = 0,95\bar{\omega}$ для $T = 0$. Уравнения Элиашберга (23), (24) и (25) решались нами только для π -зазора.

На рисунке 4 представлена, в частности, мнимая часть рассчитанной величины $\Delta(\omega)$.

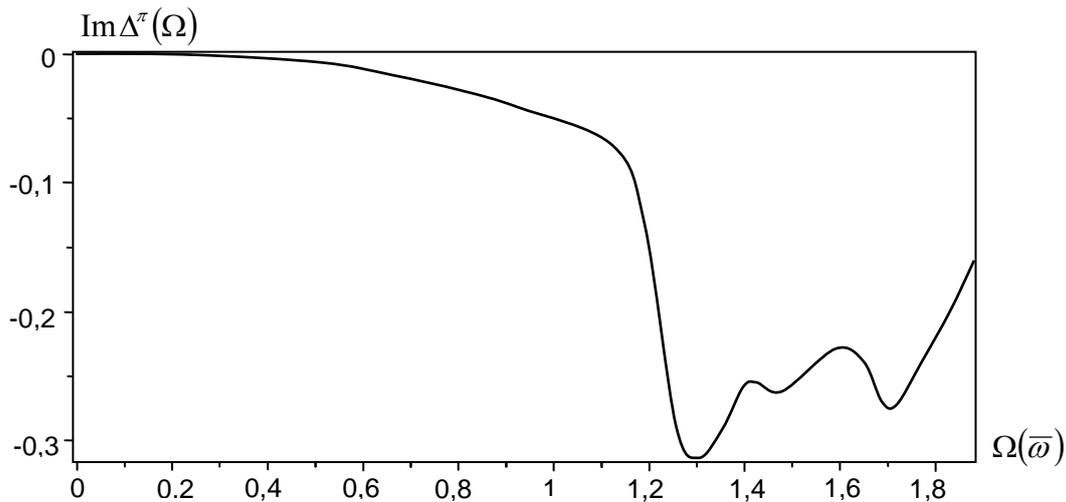


Рисунок 4 – Энергетическая зависимость мнимой части запрещенной зоны для сверхпроводящего состояния MgB_2

Видно, что вплоть до дебаевской частоты $\Omega = \bar{\omega}$ энергетические возбуждения в MgB_2 определяются, в основном, действительной частью $Re\Delta^\pi(\Omega)$, т.к. мнимая компонента $Im\Delta^\pi(\Omega)$ в этом энергетическом промежутке $0 < \Omega < \bar{\omega}$ практически нулевая.

Полученные решения уравнений Элиашберга могут быть использованы для дальнейших расчетов спектров энергетических возбуждений сверхпроводящего состояния MgB_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивановский, А.Л. Зонная структура и свойства сверхпроводника MgB_2 и родственных соединений (обзор) / А.Л. Ивановский // ФТТ. – 2003. – Т. 45. – Вып. 10. – С. 1742–1769.
2. Moshchalkov, V. Type – 1.5 Superconductivity / V. Moshchalkov, M. Menghini, T. Nishio, Q.H. Chen, A.V. Silhanek, V.H. Dao, L.F. Chibotaru, N.D. Zhigadlo, J. Karpinski // Phys. Rev. Lett. – 2009. Vol. 102. – P. 117001–117004.
3. Liu, A.Y. Beyond Eliashberg Superconductivity in MgB_2 : Anharmonicity, Two-Phonon Scattering, and Multiple Gaps / A.Y. Liu, I.I. Mazin, J. Kortus // Phys. Rev. Lett. – 2001. Vol. 87. – № 8. – P. 087005–087008.
4. Calandra, M. Electron-phonon coupling and phonon self-energy in MgB_2 : Interpretation of MgB_2 Raman spectra // Phys. Rev. – 2005. Vol. B-71. – P.064501–064510.



5. Шриффер, Дж. Теория сверхпроводимости / Дж. Шриффер // М. : Наука, 1970. – 311 с.
6. Маттук, Р. Фейнмановские диаграммы в проблеме многих тел / Р. Маттук // М. : Мир, 1969. – 366 с.
7. Вонсовский, С.В. Сверхпроводимость переходных металлов, их сплавов и соединений / С.В. Вонсовский, Ю.А. Изюмов, Э.З. Курмаев // М. : Наука, 1977. – 382 с.
8. Каракозов, А.Е. Сверхпроводимость в системах с сильным электрон-фононным взаимодействием / А.Е. Каракозов, Е.Г. Максимов, Л.А. Михайловский // ЖЭТФ. – 1992. – Т. 102. – Вып. 1(7). – С. 132–145.
9. Ревинский, А.Ф. Ab initio расчет фононного спектра и термодинамических характеристик MgB_2 / А.Ф. Ревинский, В.В. Тригук, Е.А. Багаль // Веснік Брэсцкага ўн-та. – 2011. – № 1. – Сер. 4. – С. 22–27.
10. Морозов, В.В. Полиномиальные методы прикладного анализа : монография / В.В. Морозов ; БрГУ им. А.С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2011. – 200 с.

A.F. Ravinski. Solution of the Eliashberg Equations for MgB_2 Superconducting

The superconducting state of the MgB_2 in the strong electron-phonon coupling approximation has been studied. The integral Eliashberg equations are solved by numerical method and energy gap of the superconducting state is estimated.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 10.10.2011 г.



УДК 022.532

Ю.Г. Тарасевич, А.В. Белко, С.И. Саросек, Ю.Ю. Юркевич

ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОДНОЗНАЧНОСТИ

Проведен анализ некоторых особенностей поведения нелинейных механических систем на примере одномерной цепочки точечных масс, соединённых упругими связями, имеющими нелинейные свойства. Анализ произведен по результатам численных расчётов при различных начальных и краевых условиях («закреплённые концы», «свободные концы», «периодические концы»). Получены спектры собственных частот указанной нелинейной системы.

Считается, что впервые особый характер поведения энергии в системе с нелинейными колебательными характеристиками был численно описан в статье Ферми-Пасты-Улама (1954) [1]; явление получило название «задача Ферми-Пасты-Улама» (или «проблема ФПУ»). Несколько позднее Забуски и Крускал произвели математический анализ задачи ФПУ, получив при этом аналитическое решение для уравнений Кортевега-де Фриза (солитон) (1965). Анализ нелинейных явлений составляет существенную часть математического аппарата современной физики [2].

Нас интересовали возможности использования модели, подобной модели ФПУ, в задачах теоретического исследования физических свойств малых частиц. В качестве первичного объекта изучения взята одномерная цепочка точечных масс, соединённых упругими связями. Упругие характеристики связей нелинейны, т. е., к обыкновенной линейной составляющей добавлена нелинейная, зависящая от квадратов смещений точечных масс. Сила, действующая на массу с i -м индексом («возвращающая сила»), выражается как:

$$F_i = \gamma_{i+1,i}(u_{i+1} - u_i) - \gamma_{i,i-1}(u_i - u_{i-1}) + \alpha_{i+1,i}(u_{i+1} - u_i)^2 - \alpha_{i,i-1}(u_i - u_{i-1})^2$$

где u – отклонения соответствующих масс от их положений равновесия, γ и α – множители («модули упругости») для соответствующих связей при линейных и квадратичных составляющих, соответственно. Направление возрастания индексов масс условно считается за положительное направление координатной оси.

В отличие от традиционной модели ФПУ концы цепочки могут быть незакреплёнными (что должно изображать границу частицы), а также «периодическими» (что должно изображать условия в кристаллической решётке). Для «крайней» массы с максимальным индексом N возвращающая сила, в случае свободных концов, выражается как:

$$F_N = -\gamma_{N,N-1}(u_N - u_{N-1}) - \alpha_{N,N-1}(u_N - u_{N-1})^2,$$

а в случае периодических концов:

$$F_N = \gamma_{1,N}(u_1 - u_N) - \gamma_{N,N-1}(u_N - u_{N-1}) + \alpha_{1,N}(u_1 - u_N)^2 - \alpha_{N,N-1}(u_N - u_{N-1})^2$$

Для «крайней» массы с минимальным индексом данные выражения имеют подобный вид, с очевидными заменами в индексах. В целях упрощения первоначальных расчётов принято следующее: все массы считаются равными единице массы, все расстояния между положениями равновесия масс считаются равными единице длины, все множители при линейных смещениях считаются равными единице. В первоначальных расчётах связи имеют лишь слабую нелинейность, т. е., соотношение γ



и α задано как 10. Размер цепочки – 100 точек; кроме того, производились расчёты и для сокращённого состава цепочки (10, 4, 3 точек). Спектр колебательных мод системы рассчитывается обыкновенным образом, через преобразование Фурье. Потенциальная и кинетическая энергия каждой моды считаются суммой соответствующих значений в точках положений равновесия точечных масс. Для численного расчёта принята схема «счёта вперёд» с единообразной вычислительной сеткой, аналогичная приведенной в [3].

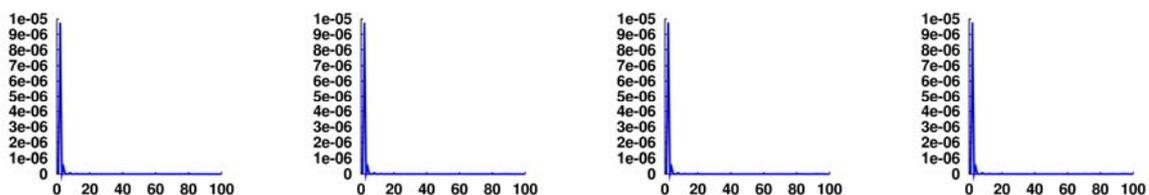
Произведены расчёты для следующих начальных условий («воздействий»): 1) «периодическое», при котором начальные смещения точек, отложенные на оси ординат в двумерной системе координат, лежат на синусоидальной кривой (ось абсцисс соответствует оси цепочки); 2) «импульсное», при котором начальные смещения точек «формируют» прямоугольный импульс. Во всех случаях векторы смещений коллинеарны оси цепочки. Краевые условия в данных расчётах, как указано, имеют вид: 1) «закреплённых концов», т.е., смещения и скорости крайних точек всегда равны нулю; 2) «свободных концов», т.е., в крайних точках действуют лишь по одной упругой связи; 3) «периодических концов», т.е., в крайних точках «следующая за краем» упругая связь присутствует и считается «соединённой» с другой крайней точкой, т.е., рассчитывается так, как если бы цепочка продолжалась периодически.

Все расчёты данного цикла произведены для 100 000 временных шагов со сравнительно малым значением прироста по времени (0,005 единицы), из соображений фиксации возможных быстрых процессов в системе.

Для линейной системы ($\alpha=0$) результаты расчётов согласуются с ожидаемыми. Периодическое начальное возбуждение приводит к появлению в спектре единственной колебательной моды. Импульсное начальное возбуждение приводит к появлению множества мод, огибающая амплитуд которых примерно соответствует кривой нормального распределения.

Для слабо нелинейной системы ($\gamma=1$; $\alpha=0,1$) результаты несколько иные. В случае периодического возбуждения и закреплённых концов появляется единственная мода, энергия которой периодически колеблется в пределах $250 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-5}$ (в единицах, соответствующих данным параметрам системы).

В случае периодического возбуждения и периодических концов картина подобная, но в каждом периоде уменьшения энергии главной моды происходит небольшой «выброс» энергии в моды более высоких порядков (вплоть до максимально возможного). Энергия выброса, однако, заключена, в основном, в порядках мод до 10-го. Соотношение энергий главной моды и выброса имеет примерный порядок $1 \cdot 10^{-5} : 0,05 \cdot 10^{-5}$.



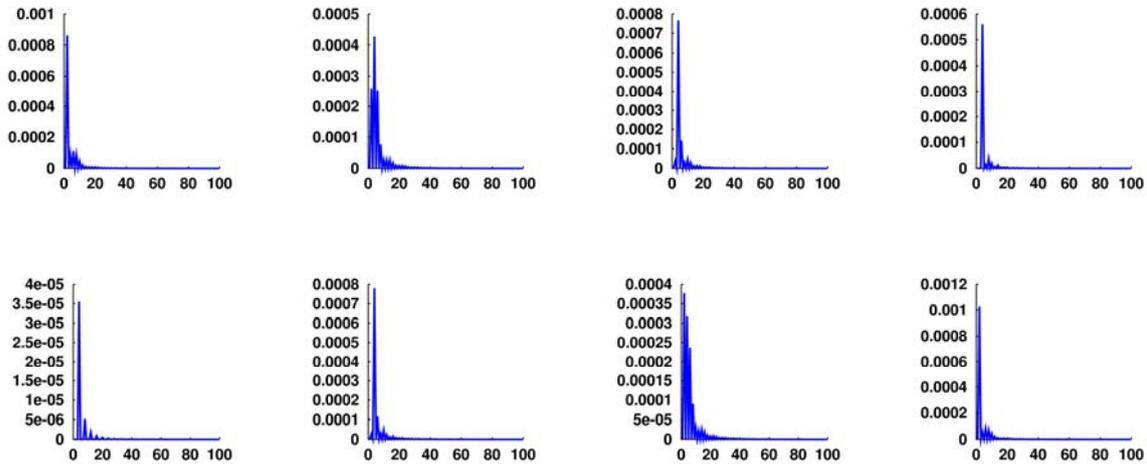
Частотный спектр после 5, 15, 15, 35 тысяч циклов

Рисунок 1 – Периодическое начальное возбуждение и периодические концы

В случае периодического возбуждения и свободных концов периодически происходит полная «перекачка» энергии из «главной» моды в набор мод более высоких порядков (существенные значения энергий приблизительно до 40–50-х порядков),



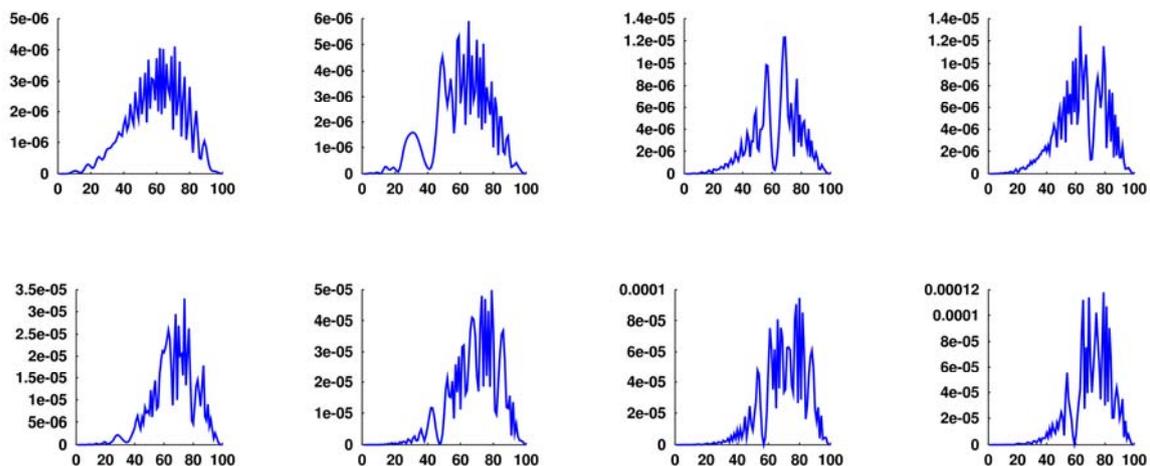
с далейшым перераспределением энергий между этими «новыми» модами, после чего энергия «возвращается» в главную моду. Картина внутреннего перераспределения энергии между «новыми» модами также повторяется из периода в период.



Пример цикла перераспределения энергии: частотный спектр после 3,4, 4,9, 6,4, 7,9 (первый ряд) и 10,4, 13,4, 15,5, 16,9 тысяч циклов

Рисунок 2 – Периодическое начальное возбуждение и свободные концы

В случае импульсного возбуждения и закреплённых концов поведение множества мод, составляющих спектр, в основном отличается от линейного случая периодическим появлением своеобразного «провала» в спектре. Такой «провал» постепенно перемещается в сторону мод высоких порядков и размывается. Вообще в данном случае происходит постоянное перераспределение энергии между модами, однако без равномерного распределения энергии по модам колебаний; огибающая амплитуд мод примерно соответствует кривой нормального распределения, сдвинутой в сторону более высоких порядков.



Частотный спектр после 18, 24,1, 36,4, 46,7 (первый ряд) и 68,5, 80,3, 96,1, 99,9 тысяч циклов

Рисунок 3 – Импульсное начальное возбуждение и закреплённые концы



В случае импульсного возбуждения и свободных концов общая картина подобна иным случаям при импульсном возбуждении – имеется множество мод с постоянным перераспределением энергии между ними, с достаточно устойчивой огибающей амплитуд. Однако спектр в данном случае подразделяется на две выраженные группы мод, размещённые в низших и высших порядках мод, и огибающая амплитуд имеет два максимума. При этом группа мод низших порядков (примерно до 30–35-го) содержит существенно меньшую часть общей энергии и периодически «исчезает», а именно, перераспределяется в группу мод высших порядков). Кроме того, при каждом новом появлении группы мод низших порядков в ней содержится всё меньшая доля общей энергии.

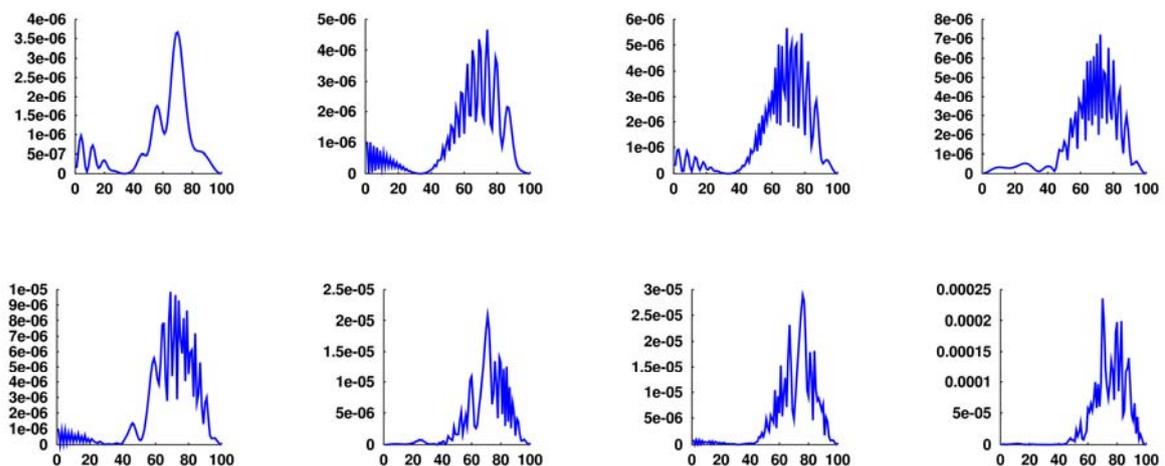


Рисунок 4 – Импульсное начальное возбуждение и свободные концы. Частотный спектр после 2,6, 10,4, 16,5, 20,6 (первый ряд) и 30,3, 40,7, 49,8, 99,9 тысяч циклов

В случае импульсного возбуждения и периодических концов картина также, в общем, аналогична линейному случаю. С течением времени максимум огибающей амплитуд смещается к более высоким порядкам мод, а амплитуды мод низших порядков уменьшаются до практического исчезновения. Равнораспределения энергии по модам колебаний также не происходит.

На основе исследования колебаний достаточно простого физического объекта – одномерной цепочки можно изучить влияние нелинейности на динамику системы. Поскольку долговременное прогнозирование динамического процесса при наличии нелинейности в системе затруднено, а применение аналитических методов практически невозможно, метод моделирования в этом случае является приемлемым. Были изучено влияние на динамику (частотный спектр) граничных и начальных условий. В результате моделирования установлено, что граничные условия в виде закреплённых, свободных и периодических концов существенно не оказывают влияния на распределение частот при одинаковых начальных условиях. Основное влияние на динамику системы оказывают начальные условия (периодическое или импульсное воздействие).



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование нелинейных задач [Текст] / Э. Ферми, Дж. Паста, С. Улам // Энрико Ферми. Научные труды : в 2 т. Т. II : 1939–1954 США / Энрико Ферми ; под общ. ред. Бруно Понтекорво. – М. : Наука, 1972. – С.645–656.
2. Ньэлл, А. Солитоны в математике и физике [Текст] / А. Ньюэлл ; пер. с англ. [И.Р. Габитов, Е.И. Шульман, А.Ю. Орлов]. – М. : Мир, 1989.
3. Никитин, А.В. Моделирование физических процессов / А.В. Никитин, А.И. Слободенюк, М.И. Шишаков. – М. : Бином, 2011.

Yu.G. Tarasievich, A.V. Belko, S.I. Sarosek., Yu.Yu. Yurkevich. Dynamics of Non-linear Systems under Different Constraining Conditions

Some aspects of non-linear mechanical systems were researched, using the one-dimensional chain of singular-sized balls connected with non-linearly elastic springs as an object. The analysis was done on the results of numeric computations with different initial and border conditions (fixed ends, free ends, periodic ends). Spectra of modal frequencies of these non-linear systems were obtained.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 09.06.2011 г.



УДК 691.544:666

Н.С. Ступень

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

В статье дан обзор исследований по использованию промышленных отходов в строительстве. Приведены результаты исследований по утилизации микрокремнезема, отходов теплоэлектростанций. Рассмотрены аспекты коррозионных процессов композиционных строительных материалов.

Характерной особенностью научно-технического прогресса является увеличение объема общественного производства. Бурное развитие производительных сил вызывает стремительное вовлечение в хозяйственный оборот все большего количества природных ресурсов. Степень их рационального использования остается, однако, в целом весьма низкой. Промышленные отходы активно влияют на экологические факторы, т.е. оказывают существенное влияние на живые организмы. В первую очередь это относится к составу атмосферного воздуха. В атмосферу поступают газообразные и твердые отходы в результате сгорания топлива и разнообразных технологических процессов. Промышленные отходы активно воздействуют не только на атмосферу, но и на гидросферу, т.е. водную среду. Под влиянием промышленных отходов, сосредоточенных в отвалах, шлаконакопителях, хвостохранилищах и т.д., загрязняется поверхностный сток в районе размещения промышленных предприятий. Сброс промышленных отходов приводит, в конечном счете, к загрязнению вод Мирового океана, которое приводит к резкому снижению его биологической продуктивности и отрицательно влияет на климат планеты. Образование отходов в результате деятельности промышленных предприятий негативно сказывается на качестве почвы. В почве накапливаются избыточные количества губительно действующих на живые организмы соединений, в том числе канцерогенные вещества. В загрязненной «больной» почве идут процессы деградации, нарушается жизнедеятельность почвенных организмов.

На основе развернувшейся планомерной работы по охране окружающей среды можно полагать, что дальнейшее загрязнение атмосферы будет приостановлено и концентрация реагентов, одинаково опасных для человека и различного рода строительных сооружений, будет снижена.

Рациональное решение проблемы промышленных отходов зависит от ряда факторов: вещественного состава отходов, их агрегатного состояния, количества, технологических особенностей и т.д. Наиболее эффективным решением проблемы промышленных отходов является внедрение безотходной технологии. Создание безотходных производств осуществляется за счет принципиального изменения технологических процессов, разработке систем с замкнутым циклом, обеспечивающих многократное использование сырья. При комплексном использовании сырьевых материалов промышленные отходы одних производств являются исходными сырьевыми материалами других.

Важность комплексного использования сырьевых материалов можно рассматривать в нескольких аспектах. Во-первых, утилизация отходов позволяет решить задачи охраны окружающей среды, освободить ценные земельные угодья, занимаемые под отвалы и шламохранилища, устранить вредные выбросы в окружающую среду. Во-вторых, отходы в значительной степени покрывают потребность ряда перерабатывающих отрас-



лей в сырье. В-третьих, при комплексном использовании сырья снижаются удельные капитальные затраты на единицу продукции и уменьшается срок их окупаемости [1].

Одной из эколого-экономических проблем развития любого региона является проблема утилизации отходов многих химических производств, загрязняющих внешнюю среду, а также создание безотходных химических производств.

В этой связи, важной составляющей интегрированного подхода в решении проблем обращения с отходами является закрепление основных принципов на законодательном уровне.

В 2008 году принят Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами». С принятием Закона изменились принципы государственной политики в области обращения с отходами, приоритетность использования отходов по отношению к их обезвреживанию или захоронению и иное. Определены правовые основы обращения с отходами, направленные на предотвращение их вредного воздействия на окружающую среду, а также на максимальное вовлечение отходов в гражданский оборот в качестве вторичного сырья. Нормы и положения Закона согласуются с требованиями национального законодательства, а также Директивой Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства».

Из отраслей-потребителей промышленных отходов наиболее емкой является промышленность строительных материалов. Установлено, что использование промышленных отходов позволяет покрыть до 40 % потребности строительства в сырьевых ресурсах. Применение промышленных отходов позволяет на 10–30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капитальных вложений достигает 35–50 % [1].

Была исследована возможность утилизации осадков сточных вод ряда предприятий радиоэлектроники. Выделенные из очистных сооружений осадки сточных вод содержат большое количество ценных компонентов, которые представляют интерес и могут практически использоваться. Но они направляются в отвалы, что создаёт опасность загрязнения окружающей среды. Решение проблемы осуществимо возможностью применения осадков сточных вод – труднорастворимых соединений в производстве двухслойного лицевого и рядового кирпича, керамических камней, стеновых материалов, пористых заполнителей для бетона (керамзита или аглопорита), фасадной керамической плитки, красителей для стекол, глазурей и эмалей. В определенной мере, утилизация этих осадков позволяет осуществлять безотходную технологию, повышать экономическую эффективность, улучшать среду обитания, сокращать затраты на производство.

Анализ свойств и состава глинистого сырья, изделий с добавками осадков проводились по традиционным методикам. Экспериментально было установлено, что в состав осадков входили гидроксиды различных металлов. Среди них гидроксиды меди, кадмия, олова, свинца, титана, хрома, молибдена, марганца, никеля. Они были в виде пастообразных масс, их влажность составляла 50–70 % с $pH = 8–10$.

Было изучено влияние добавок осадков сточных вод от 5 до 15 % в глинистое сырье из красножгучих глин Мызинского, Богдановичского месторождений на технологические характеристики производства стройматериалов и качественные показатели готовой продукции. Оказалось, что при испытаниях изделий с добавками осадков сточных вод они проявили лучшие свойства: увеличился предел прочности при сжатии, уменьшилось водопоглощение, повысилась термостойкость, увеличилась в 1,5–2 раза морозостойкость, улучшился внешний вид, расширилась цветовая гамма.



Многочисленные исследования позволили установить возможность использования отходов ферросплавного производства в качестве гидравлических добавок в вяжущие вещества.

Микрокремнезем (микрокремний, микросилика, кремниевая пыль) – побочный продукт производства кремниевых и феррокремниевых сплавов, представляющих собой высокодисперсную пыль кремнезема, улавливаемую фильтрами из отходящих газов. Он образуется при восстановлении высокочистого кварца с углем. Так как микрокремнезем является отходом производства, то его физико-химические свойства, в частности, дисперсность и содержание активной формы SiO_2 во многом определяется конкретными условиями получения сплавов. По мере увеличения содержания кремния в сплаве увеличивается содержание SiO_2 в кремниевой пыли, но химический состав микрокремнезема для конкретного производства остается постоянным. Микрокремнезем, содержащий не менее 85 % SiO_2 , относится к пуццолановым добавкам с высокой активностью. Микрокремнезем в странах СНГ доступен и использование его перспективно в больших количествах. При введении микрокремнезема значительно улучшаются свойства портландцемента. Использование микрокремнезема в сочетании с водоредуцирующей добавкой повышает прочность, водонепроницаемость, сульфатостойкость и другие свойства цементного клинкера. Повышение прочности цементного камня с добавкой микрокремнезема обусловлено увеличением степени гидратации цемента как за счет создания центров кристаллизации для $\text{Ca}(\text{OH})_2$, так и за счет взаимодействия активного кремнезема с гидроксидом кальция с образованием труднорастворимого низкоосновного мелкокристаллического гидросиликата. Снижение водонепроницаемости цементного камня при введении микрокремнезема является результатом уменьшения числа крупных пор. Благодаря этому, проницаемость цементного камня уменьшается, и устойчивость его к действию агрессивных сред возрастает. Введение микрокремнезема в цемент также дает возможность получить значительный экономический эффект при получении модифицированного цементного вяжущего.

Бурное развитие промышленности, в особенности химической, в последние десятилетия вызвало существенное изменение состава внешней среды в индустриальных районах. Атмосфера, которая характеризуется повышенным содержанием кислых газов, весьма агрессивна и опасна не только человека, но и для бетона и арматуры железобетонных конструкций. Большое значение для перспективы снижения степени агрессивности среды по отношению к бетонным и железобетонным конструкциям, а также сооружениям на основе магнезиального цемента имеет очистка сточных вод, а также защита рек и других водоёмов.

При строительстве предприятий, в технологическом процессе которых предусмотрено участие химически активных (агрессивных) веществ, необходимо учитывать возможность их попадания в грунты и проектировать в связи с этим защиту подземных конструкций.

Необходимая стойкость конструкций может быть достигнута только в том случае, если будет осуществлён комплекс мероприятий, предусматривающих придание её материалу и самой конструкции свойств, определяющих сохранение расчётных параметров (прочности, водонепроницаемости и др.) в течение всего срока службы сооружения.

Для оценки степени агрессивности внешних воздействий в реальных условиях большое значение имеет анализ поведения материала конструкций – бетона и железобетона – в ранее построенных сооружениях. Значительные коррозионные повреждения



строительных железобетонных конструкций отмечаются на многих химических комбинатах: в цехах производства хлора, кислот, солей.

Весьма часто наблюдаются разрушения строительных конструкций, соприкасающихся с грунтами, насыщенными или периодически увлажняемыми минерализованными водами.

Коррозионные процессы в твёрдой и газообразной средах фактически начинаются и протекают только в присутствии жидкой фазы. Для бетонных и железобетонных конструкций это природные и промышленные растворы, содержащие различное количество растворённых веществ (кислот, солей, щелочей) или некоторые органические жидкости.

Атмосферные воды, выпадающие в виде осадков, содержат обычно ничтожное количество солей: хлорид-ионов, как правило, в пределах 1,5–4 мг/л, а сульфатов в расчёте на SO_3 – от 1 до 16 мг/л. Количество SO_3 может быть значительно больше в районе городов, где воздух загрязняется дымовыми газами. Кроме того, атмосферные воды содержат некоторое количество растворённого CO_2 , снижающего pH в результате образования в воде угольной кислоты до 5,7.

Химический состав речной воды в значительной степени зависит от источников питания реки и вида пород, через которые фильтруются воды, и в которых проходит русло реки. Если вода в реке пополняется, в основном, за счёт атмосферных осадков, то она мало минерализована и имеет малую временную жёсткость, если же питание реки происходит грунтовыми водами, то степень минерализации речной воды может быть значительна. Паводковые воды всегда имеют более низкую минерализацию.

По степени минерализации речная вода может быть разделена, по данным О.А. Алекина [2], на четыре ступени: I – малой минерализации (до 200 мг/л); II – средней минерализации (200–500 мг/л); III – повышенной минерализации (500–1000 мг/л); IV – высокой минерализации (более 1000 мг/л).

Химический состав грунтовых вод зависит от многих факторов и в том числе от состава пород и характера почв, с которыми соприкасается вода, состава питающих вод (атмосферных, речных, морских и т.д.), близости вод к поверхности и климатических условий данного района. В гидрогеологических исследованиях предложено несколько вариантов классификации состава подземных вод в зависимости от степени их минерализации. По предложениям К.Е. Питьевой [3] подземные воды можно разделить на четыре группы с различной степенью минерализации. Первая группа – пресные воды со степенью минерализации < 1 г/л. Это преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магниевые воды. Вторая группа – слабоминерализованные воды 1–10 г/л. Подземные воды этой группы включают гидрокарбонатный, сульфатный и хлоридный типы по анионам и кальциевый, магниевый и натриевый тип по катионам. В третью группу входят минерализованные воды со степенью минерализации 10–30 г/л. Эти воды хлоридного типа по анионам и натриевого типа по катионам. Четвёртая группа включает воды со степенью минерализации более 30 г/л, они относятся к хлоридному типу по анионам и к натриевому, кальциевому, магниевому по катионам. Предельное содержание иона HCO_3^- зависит от того, с какими катионами связан сульфат ион. Содержание ионов HCO_3^- в грунтовых водах невелико. В пресных грунтовых водах при минерализации 5–6 г/л может быть до 0,5–0,6 г/л ионов HCO_3^- . В минерализованных грунтовых водах можно выделить как воды со значительным количеством ионов SO_4^{2-} , так и воды с очень малым содержанием этих ионов, но с большим количеством иона Cl^- , связанно-



го с катионами Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ . В глубинных подземных водах в большом количестве присутствует CO_2 .

Оценить степень агрессивности вод можно только с учётом всего комплекса показателей, включающих химический состав грунтовых вод, назначение сооружений, особенности их конструкций, срок службы, применяемый цемент и требования, предъявляемые к бетону.

Одним из основных факторов, определяющим скорость и степень коррозионных процессов строительных сооружений является химический состав грунтовых вод.

В лабораторных условиях трудно моделировать среды, близкие к грунтовым водам. Для моделирования среды, близкой к грунтовым водам, проводили исследование на упрощённой модели, включающей ионы Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} . Для приготовления растворов использовали сульфат натрия, сульфат кальция, карбонат калия, хлорид натрия, гидрокарбонат натрия марок ЧДА. Концентрации растворов сульфата (в пересчёте на ион SO_4^{2-}) – 1500 мг/л, 12000 мг/л, 20000 мг/л приняты из соображений ускоренного получения исследуемых зависимостей. Концентрация растворов по иону HCO_3^- : 85,4 мг/л, 170,8 мг/л, 341,6 мг/л, 512,4 мг/л (или 1,4 мг-экв/л; 2,8 мг-экв/л; 5,6 мг-экв/л; 8,4 мг-экв/л) приняты как наиболее характерные для грунтовых вод на территории Белоруссии и стран СНГ.

Экспериментальные исследования показали, что коррозионные процессы, идущие в цементном камне в сульфатных и сульфатно-гидрокарбонатных средах имеют принципиальные различия. Степень и скорость коррозии зависит от концентрации сульфат и гидрокарбонат-ионов. Наибольший эффект снижения интенсивности коррозии зафиксирован при концентрации гидрокарбонат – ионов около 6 мг-экв/л. Дальнейшее повышение концентрации гидрокарбонат-ионов незначительно влияет на изменение фазового и минералогического состава цементного камня, а также на скорость коррозии [3]. Установлено, что присутствие хлорид-ионов уменьшает агрессивность сульфатно-гидрокарбонатных ионов, что сказывается на замедлении процессов коррозии [4].

Большое внимание уделяется изучению химического состава агрессивных промышленных сред, которые являются отходами различных химических производств. Жидкие агрессивные промышленные среды, которые могут воздействовать на бетон, весьма разнообразны. Их можно разделить на органические и неорганические. Однако это деление не полно, так как в обоих классах соединений есть вещества, действующие однотипно. Правильнее классифицировать агрессивные промышленные среды в соответствии с классификацией коррозионных процессов. В этом плане агрессивные промышленные среды можно разделить на три группы: вызывающие коррозию I вида, которая в условиях жидких агрессивных промышленных сред возможна в некоторых специальных сооружениях, например, резервуарах, лотках и т.п.; вызывающие коррозию II вида (кислоты органические и неорганические, соли сильных кислот, кислые соли и др.); вызывающие коррозию III вида – щёлочи, большинство солей, некоторые мономеры (полимеризующиеся с увеличением объёма) и др. Встречаются также агрессивные промышленные среды и условия, при которых развивается одновременно коррозия двух, а иногда и трёх видов. Например, в сооружениях калийной промышленности растворяющее действие растворов хлоридов натрия или калия (коррозия I вида) сопровождается кристаллизацией этих солей при наличии испаряющей поверхности (коррозия III вида). При действии слабых кислот одновременно идёт коррозия I и II видов. Состав агрессивных промышленных сред обычно изучают применительно к конкретному производству и технологическому процессу. Концентрированные технологические раство-



ры в нормальных условиях эксплуатации не должны контактировать со строительными конструкциями. Наиболее опасны для бетона кислые агрессивные среды [5; 6].

Есть специфическая группа жидких агрессивных сред, которые не взаимодействуют химически с цементным камнем, но влияют на его прочностные свойства. Это так называемые адсорбционно-активные среды. Их действие основано на физико-химическом явлении – адсорбции поверхностно активных веществ на поверхности твёрдой фазы цементного камня. В результате образования моно- или полимолекулярного слоя и проникания молекул адсорбируемого вещества в микродефекты – микрощели твёрдого тела – его прочность понижается. К адсорбционно-активным средам относятся, прежде всего, водные растворы поверхностно-активных веществ (мыл; специфических моющих средств и др.), а также неводные жидкости, содержащие поверхностно-активные вещества (продукты и полупродукты нефтехимических производств).

Специфически действуют на бетон жидкие углеводороды. Проникая в поры бетона, они вытесняют воду с поверхности минералов цементного камня и в зависимости от своей вязкости, летучести или испаряются в последующем (при этом цементный камень восстанавливает свои свойства), или остаются в порах цементного камня (масла), что приводит к понижению его прочности [6; 7].

Свойства агрессивных сред и условия их действия на строительные конструкции весьма разнообразны. Для оценки характера коррозионного процесса и степени агрессивного действия различных веществ, содержащихся во внешней среде, на бетоны необходима классификация таких воздействий по общим признакам. Определяющим фактором скорости коррозионных процессов в цементном камне является скорость внутренней диффузии. Но процесс взаимодействия водного раствора сульфата с минералами гидратированного цементного камня является гетерогенным, его кинетика будет зависеть и от того, в каком виде будут выделяться новообразования, в виде ли рыхлых осадков или в виде плотных пленок, создающих нарастающее сопротивление в поверхностном слое твердой фазы в порах.

Были изучены скорость и степень сульфатной коррозии цементного клинкера в присутствии микрокремнезема (от 10 до 25 % по массе).

Известно, что реальные сульфатные среды характеризуются тем, что сульфат ионы находятся в сочетании с различными катионами, которые при взаимодействии с составными частями цементного камня могут образовывать соединения, способные оказывать различное влияние на фазовый состав в данной системе. В грунтовых и сточных водах чаще всего встречаются сульфаты кальция, магния и натрия. По мнению многих исследователей, наименее агрессивным для данной системы является катион натрия. Поэтому для создания агрессивной сульфатной среды мы использовали сульфат натрия.

Было установлено, что введение микрокремнезема в цементное вяжущее существенно снижает скорость сульфатной коррозии. Это связано с тем, что микрокремнезем существенно улучшает структуру цементного клинкера. В значительной степени уменьшается общая пористость структуры, а это в свою очередь снижает поглощение сульфат-ионов из агрессивной среды. Наиболее эффективным является добавка 15 % микрокремнезема [8]. Дальнейшее увеличение содержания микрокремнезема в цементе существенного влияния на кинетику сульфатной коррозии не оказывало. Введение микрокремнезема в количестве 25 % по массе наоборот резко повышает скорость поглощения сульфат-ионов при твердении цементного клинкера прочностью и водостойкостью. Оказалось возможным применять микрокремнезем в виде добавки в магниевые вяжущие как в подвижных, так и сухих пресованных смесях. На основе этого



были разработаны состав и технология получения композиционных вяжущих повышенной прочности, воздухоустойкости и, что особенно важно, водостойкости, на основе каустического магнезита и микрокремнезема. Введение микрокремнезема в магнезиальные вяжущие позволяет также решить проблему высолов на поверхности изделий.

Композиционные магнезальные вяжущие могут быть использованы для получения прессованных изделий, например, облицовочных декоративных плит, эксплуатируемых в помещениях с повышенной влажностью.

Определена возможность использования в качестве добавок в портландцемент использование шлаков ТЭЦ. Введение в цементный клинкер от 10 до 20 % шлама в значительной степени снижает водопроницаемость вяжущего и замедляет процессы коррозии. Кроме этого, уменьшение выщелачивания гидроксидов кальция позволяет обеспечить сильнощелочную среду, что гарантирует устойчивость стальной арматуры в железобетонных конструкциях [7].

Многолетние исследования коррозии химически чистого железа Армко, чугуна и сталей различных марок в хлоре были предопределены широкомасштабностью промышленного использования этого газа в неорганическом и органическом синтезах и высокой коррозионной агрессивностью этого газа к металлам, неметаллам и синтетическим поделочным материалам. Выбор коррозионно-стойких конструкционных и защитных материалов для аппаратного оформления технологических процессов производится с учетом многих факторов. Для хлора – это в первую очередь влажность, температура, давление и скорость пропускания хлора над поверхностью металлических трубопроводов, компрессоров, баллонов и других деталей. В условиях Полесья особенно важное значение имеет высокая влажность атмосферы и почвы. Незначительное увеличение воды в жидком и газообразном хлоре, неправильный выбор металлов, несоответствующий температурный режим вызывает резкое увеличение скорости коррозии металлов. Всё это требует быстрой количественной оценки.

Хлор, хлорпродукты и проблема охраны окружающей среды имеют серьезное значение в решении экологических и экономических проблем. Коррозия металлов в хлоре протекает, как в замкнутых объемах трубопроводов, цистерн, баллонов и других ёмкостей, так и на открытых поверхностях деталей. В этих условиях очень важны исследования кинетики коррозии металлов, которые позволяют разрабатывать способы защиты металлов от коррозии. Экономическая проблема коррозионных процессов характеризуется большими потерями металла: четвертая часть выплавляемого металла разрушается от коррозии.

Экспериментальное определение скоростей коррозии малоуглеродистой стали марки 08 кп-10кп в токе хлора влажностью 0,06 % (весовых) при температуре 50°С. показали средние значения скоростей коррозии через 60 минут хлорирования – 20,7547 г/м² час; на 120 минуте – 17,7391 г/м² час; на 240 минуте – 16,4720 г/м² час; на 300 минуте – 15,2609 г/м² час; на 360 минуте – 13,3925 г/м² час. Исследования проводили термографическим и весовым методами [1; 2]. Увеличение влажности хлора с 0,06 % до 0,09 % при температуре 50°С показало повышение скоростей коррозии малоуглеродистой стали марки 08 кп-10 кп во все соответствующие отрезки времени: через 60 минут хлорирования – в 2,1 раза; через 120 минут – в 1,8 раза; через 180 минут – 1,6 раза; через 240 минут – в 1,5 раза; через 360 минут – 1,5 раза. Такое значительное увеличение скоростей коррозии в токе хлора в отдельные моменты времени в течение шести часов хлорирования малоуглеродистой стали указывает и на методы снижения скоростей разрушения железа в виде стали. Это осушение хлора, снижение его влажности. Практиче-



ская целесобразнасць уменшэння вільнасці хлора пры яго выкарыстанні ў прамысловасці добра паказана ў рабоце [9].

Звычайна ў пячве і ў вады вадоемаў Беларусіі змяшчаюцца дастатковыя колькасці жалеза, неабходнага для жыццядзейнасці жывых арганізмаў. Ізбыток іонаў жалеза аказвае адмоўнае ўплыв на біяхімічныя працэсы чалавека і жывотных. У лік васьмі самых небяспечных токсічных элементаў для жывых арганізмаў уваходзіць і жалезо.

Такім чынам, у наш час пераафармленне сістэмы абароны адходаў прызнаецца адной з галоўных праблем аховы навакольнага асяроддзя. С цэллю мінімізаваць негатыўнае ўздзеянне адходаў на навакольнае асяроддзе трэба дзейнічаць паводле асноўных прынцыпаў, якія заключаюцца ў наступным:

– мінімізацыя ўтварэння адходаў (уводзіцца безотходнага і малоотходнага вытворчасці);

– максімальнае паўторнае выкарыстанне і другасная пераапрацоўка адходаў;

– экалагічна і эканамічна абгрунтаванае абезврежванне, і захаванне некарыстаемых частак адходаў.

Утылізацыя адходаў розных хімічных вытворчасці, у першую чаргу, мае вялікае значэнне ў вырашэнні экалагічных і эканамічных праблем, у другой, дазваляе ствараць новыя кампазіцыйныя будавальныя матэрыялы, якія маюць неабходныя эксплуатацыйныя якасці.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, Л.Н. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.Н. Попов. – М. : Знание, 1978. – 234 с.

2. Алексин, О.А. Гидрохимия / О.А. Алексин. – Л. : Наука, 1970. – 185 с.

3. Питьева, К.Е. Гидрохимия / К.Е. Питьева. – М. : Наука, 1971. – 256 с.

4. Попов, Л.Н. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.Н. Попов. – М. : Знание, 1978. – 234 с.

5. Ступень, Н.С. Исследование системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ в присутствии ионов SO_4^{2-} и HCO_3^- / Н.С. Ступень, Б.С. Шевченко, Ю.В. Волинчук // Веснік Брэсцкага ўн-та., 2003. – № 2 (34). – С. 55–61.

6. Ступень, Н.С. Исследование системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ в присутствии ионов SO_4^{2-} и HCO_3^- / Н.С. Ступень, Б.С. Шевченко // Веснік Брэсцкага ўн-та. – 2004. – № 2 (40). – С. 56–60.

7. Москвин, В.М. О роли ионного и солевого состава раствора при сульфатной коррозии бетона / В.М. Москвин, Г.В. Любарская // Бетон и железобетон. – 1982. – № 9. – 16–18 с.

8. Ступень, Н.С. Сульфатная коррозия цемента в присутствии микрокремнезема / Н.С. Ступень, В.В. Коваленко // Веснік Брэсцкага ўн-та. – 2006. – № 2 (26). – С. 54–57.

9. Товмасьян, И.К. Защита металлов / И.К. Товмасьян, Б.С. Шевченко, Н.М. Гонтмахер // ЖПХ. – Вып. 1. – М., 1998. – С. 145–147.

N.S. Stupen. Ecological Aspects of Industrial Waste Use

The article presents a review of research on the use of industrial wastes in building. The results of the studies on the recycling of microsilica, wastes of thermal power plants are given. The aspects of corrosion processes of composite building materials are considered.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 20.09.2011 г.



УДК 550.42 (476)

М.А. Богдасаров, Н.Ф. Гречаник

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ПОДЛЯССКО-БРЕСТСКОЙ ВПАДИНЫ

В статье на основании палеогеографических реконструкций охарактеризованы основные этапы формирования четвертичных отложений в пределах территории Подляско-Брестской впадины. Подробно рассмотрены основные факторы формирования четвертичных отложений. Анализ факторов и палеогеографические реконструкции позволили выделить общие особенности развития территории и указать на важнейшую роль ледниковых покровов, неоднократно вторгавшихся в ее пределы в антропогене.

Четвертичный период на территории Беларуси характеризуется резкими колебаниями климата, что нередко сопровождалось развитием покровных оледенений, которые сменялись теплыми межледниковыми обстановками. Под влиянием этих процессов накапливались мощные континентальные толщи отложений, среди которых ведущая роль принадлежит ледниковым комплексам. На завершающем отрезке четвертичной истории важную роль в преобразовании природы стал играть человек. За основу для возрастной периодизации событий характеризуемого интервала развития природы принята стратиграфическая схема (таблица 1), разработанная при подготовке монографий [1] и [2].

1 Гомельский этап

Плейстоцен отвечает промежутку времени 1,80–0,01 млн. лет назад и делится на три крупных этапа – ранний, средний и поздний. Наиболее длительным был первый из них – гомельское время, когда на территории Подляско-Брестской впадины господствовали денудационные процессы, а осадконакопление было локализовано преимущественно в озерных водоемах и долинах рек [3]. В течение гомельского времени, охватывающего весь ранний плейстоцен Беларуси, сформировались континентальные аналоги апшеронского яруса Русской равнины. К ним Л.Н. Вознячук [4] причислял гомельский и ельнинский надгоризонты эоплейстоцена и часть брестского надгоризонта гляциоплейстоцена, Н.А. Махнач [5] – весь брестский горизонт, Г.И. Горецкий [6] – вселюбскую и сморгонскую свиты белицкой серии неогена. Некоторые исследователи рассматривали эти отложения как переходную толщу от неогеновой к четвертичной системе [7]. Чаще всего к этому интервалу относились донаревские (доясельдинские) отложения.

Территория Беларуси в гомельское время представляла собой пологоволнистую равнину, унаследованную от неогена, когда после ухода в олигоцене мелководного моря на больших пространствах были распространены озера, болота, заболоченные низины. Поверхность образовывала как бы три ступени – на северо-востоке и востоке с абсолютными отметками до 140–160 м, в центральной части 80–100 м, локально до 120–140 м, и в западной до 60–80 м.

В юго-западной наиболее пониженной части Беларуси, в пределах исследуемой территории, на значительных площадях сформировались озерные и озерно-аллювиальные низины с многочисленными водоемами, котловины которых имели тектоническое, карстовое или аллювиально-старичное происхождение. Крупные озера, очевидно, существовали в пределах современной Прибугской равнины. Наиболее повышенные участки имели относительные отметки 20–40 м. Одной из особенностей строения



земной поверхности была достаточно хорошо развитая речная сеть. Глубина речных долин в основном составляла 20–25 м и только изредка достигала 40–45 м и более [8].

Таблица 1 – Стратиграфическая схема четвертичных отложений территории Подляско-Брестской впадины [1; 2]

Сис-тема	Раз-дел	Звено	Ин-декс	Надгоризонт, горизонт, подгоризонт		Описание пород	
Четвертичная	Голо-цен	Со-врем.	НП	Голоценовый		пески, супесь	
	Плейстоцен	Верх-нее	Шрз	Поозерский		пески, суглинок, супесь, гравий, галька	
			Шmr	Муравинский		пески, супесь, суглинки, глины	
		Сред-нее	Прг	Припятский	Сожский		супеси, суглинки
					Днепровский		песчано-гравийный, валунный материал
			Пalk	Александрыйский		пески, супеси, алевриты, глины	
			Пbr	Березинский		пески, суглинки, гравийно-галечно-валунный материал	
			Пbl	Беловежский		пески, супеси, суглинки, глины	
			Пnr	Наревский		пески, алевриты, глины	
		Пbs	Брестский	Ружанский Варяжский	алеvриты, глины		
		Ниж-нее	Igm	Гомельский		алеvриты, тонко-, мелкозернистые пески	

Характер геодинамических процессов и седиментогенеза в раннем плейстоцене на территории Беларуси мало отличался от конца неогена. Осадконакопление происходило на тех же площадях, т.к. почти все отложения раннего плейстоцена в положении *in situ* подстилаются аккумуляциями позднего плиоцена. В течение гомельского времени накапливались преимущественно аллювиальные, озерные и озерно-аллювиальные, болотные и лессовидные отложения.

2 Брестский этап

Средний плейстоцен начинается с брестского интервала, примерно 0,8 млн. лет назад. В геохронологической шкале плейстоцена Беларуси брестскому времени соответствует один климатический цикл [1; 2]. Территория Подляско-Брестской впадины в брестское время представляла собой преимущественно пологоволнистую денудационную равнину, сложенную дочетвертичными породами. Только в юго-западной части, в пределах исследуемой территории, были распространены образованные нижнечетвертичными отложениями озерно-аллювиальные заболоченные низины с крупными озерами, соединенными речными протоками [3]. Положение озерно-аллювиальных низин и крупных озерных котловин было предопределено тектоническими движениями, которые вызвали общую перестройку орографического плана территории, сопровождавшуюся опусканием



юго-западной часты Беларусі. Наіболей крупнымі прагібаюшыміся структурамі былі цэнтральная і ўсходняя часты Подляско-Брэстскай впадыны.

В брэстскае часе атрымала развіццё адносна густая сетка крупных рэк. Глыбіна долін звычайна не перавышала першых дзясяткаў метраў. На наяўнасць крупных рэчных артерій у брэстскае часе указвалі ў сваё часе Г.І. Горецкі [9] і В.А. Кузнецов [10]. Пры гэтым яны падкрэплівалі, што аднавіць становішча гэтых рэк досыць складана з-за наступных працэсаў ледніковай экарацыі і недастатка фактычнага матэрыяла. Асаблівасці строення зямной паверхні і тэктонічная абстаноўка прадэталілі спецыфічнасць складу і распаўсюджванне брэстскіх адкладаў. Іх магутнасць для Подляско-Брэстскай впадыны дасягае 20–30 м і больш. Судзя па досыць значнымі ваганнямі абсалютных адметак падэшвы азёрных толшч (да 60 м), дыферэнцыяцыя тэктонічных рухаў была больш значнай, чым у цяперашняе часе [11].

Адклады брэстскага этапу прадстаўлены ў асноўным азёрнымі, аллювіяльнымі і болотнымі, а таксама лесавіднымі фациямі. Сярод іх пераважаюць алевіты і гліны голубавата-серыя і зялёнавата-серыя пылаватыя, рэдка сустрачаюцца азёрныя мергелі. У некаторых разрэзах адзначаны ленточна-падобныя азёрныя і морэнападобныя ледніковыя ўтварэнні, уключэнні эратычнага абломочнага матэрыяла.

3 Наревскі этап

Наревскае часе чвэрцічнага перыяду на тэрыторыі Беларусі азнаменавалася пранікненнем першага, дрэвнейшага матэрыкавага оледенення. Большая частка Беларусі была перакрыта ледніковым покрывам, наступанне якога караным спосабам змяніла ход літогенеза і морфагенеза. Калі да гэтага вядучую ролю ў фарміраванні абліка зямной паверхні і адкладаў іграла геалагічная дзейнасць вады і тэктонічныя рухі, то з пачаткам сярняга плейстэна к ліку найбольш актывных геалагічных агентаў дадаваўся матэрыкавы лед. Для разумення заканамернасцей працягу прыродных працэсаў у наревскае часе важнае значэнне мае ўсталяванне граніц распаўсюджвання ледніка, яго структуры і характара дэградацыі. Слэдуе адзначыць, што да сённяшняга большасць гэтых пытанняў з'яўляюцца дыскусійнымі.

Асабліва многа спораў вядзецца па прадельнай граніцы ледніковага покрыва. Так, напрыклад, Б.Н. Гурскі [12] лічыў, што морэныя адклады наревскага ледніка сустрачаюцца севернее лініі, праходзячай ад г.п. Шэрэшева на г.п. Ганцевічы – Любань – Глуцк – Жлобін – Клімовічы і далей на г.п. Рослаўль. У тое ж часе ян палагаў, што па крупным ложбінам языкі дрэвнейшага ледніка маглі продвільгацца і южннее указанай лініі. М.М. Цапенка [13] праводіла граніцу першага оледенення южннее Малорыты, на Пінск, між Слэцкам і Старобінам і далей чэрез Глуцк, Бобруйск, Быхав, Чаусы, Дрыбін. Яшчэ южннее опускаў граніцу Г.Г. Грузман [14], даказваючы, што наревскі леднік дасягаў тэрыторыі Украіны. Л.Н. Вознячук [4] прадпалагаў, што дрэвнейшы наревскі леднік доходіў да Прыпяці, т.е. пакрываў почти всю тэрыторыю Беларусі.

У цяперашняе часе А.В. Матвеев і др. [2], на аснове выкарыстання большага фактычнага матэрыяла, прааналізавалі становішча ложбін ледніковага выпахвання і размыва, прадлагаюць праводзіць граніцу оледенення па лініі Брэст – Кобрын – севернее Пінска – Лунінца – Октябрскі – Брагін – Лоев – Гомель – Чэчерск – Краснаполье – Клімовічы. Прадпалажытэльно к морэнам гэтага часу атнесены адклады, сустрачаныя ў скважынах севернее Брэста. Аднак найбольш крупныя масывы адзначаюцца севернее і северна-западнае Каменца, ў басейне Нарэва, ўсходннее і северна-ўсходннее Косова. Нескількі шырэ наревская морэна распаўсюджаная ў межах Нарэвско-Ясельдынскай азёрна-аллювіяльнай раўніны. Талыя ледніковыя вады распаўстра-



нялись значительно далее дистального края глетчера. Однако в целом восстановить систему их динамики довольно трудно.

Ледниковые нагрузки вызвали оживление тектонических движений, причем эти движения стали более дифференцированными, что сказалось на накоплении отложений и размещении некоторых генетических типов рельефа, прежде всего краевых ледниковых образований и ледниковых ложбин. Исследуемая территория оставалась по-прежнему пониженной, что обусловило здесь наибольшее продвижение к югу ледникового покрова и формирование повышенных толщ водно-ледниковых отложений, которые, правда, позднее были в значительной степени эродированы. На распространение этих отложений также повлияли локальные особенности тектонических движений. Например, в районе Кобрин – Пружан – Березы происходило сводовое поднятие территории, которое хотя и перекрывалось ледником, но оставленные им на этом участке отложения отличаются малой мощностью и фрагментарным распространением [15].

Имея в виду характер распределения моренных отложений, ориентировку и густоту ледниковых ложбин, а также крупные неровности доледникового и ледникового рельефа, выделяют три потока наревского ледника; в пределах Подляско-Брестской впадины получил развитие неманский поток. Преобладающим направлением движения льда было субмеридиональное [2].

Ледниковый покров при своем движении оказывал разнообразное воздействие на поверхность ложа. Им были углублены существовавшие ранее долины и другие понижения за счет размыва тальми водами, выпаживания и выдавливания. Деградация ледника проходила с отдельными остановками, и тогда формировались цепи возвышенного краевого ледникового рельефа. При таянии образовалось большое количество озер, постепенно заполнявшихся осадками. На месте многих ледниковых ложбин возникли понижения глубиной 20–40 м, которые в значительной мере предопределили в последующем размещение гидросети и болот. Активно протекали солифлюкция, морозное выветривание, гляциокарст, т.е. те процессы, которые свойственны перигляциальным обстановкам.

Во внеледниковой зоне в пределах Подляско-Брестской впадины в наревское время накапливались аллювиальные, озерные, склоновые отложения, местами получали развитие флювиогляциальные образования, существовала речная сеть, однако отличить следы ее деятельности от водотоков последующего беловежского межледниковья довольно трудно. На аллювиальные процессы существенный отпечаток накладывала близость ледника и связанная с этим суровость климата. В результате процессов литогенеза и морфогенеза на территории Подляско-Брестской впадины возник рельеф, который в генетическом отношении существенно отличался от донаревского. Возросла расчлененность земной поверхности. Исследуемая территория стала приобретать вид котловины [3].

4 Беловежский этап

Беловежское время представляет собой один из наиболее сложных этапов развития природного процесса в плейстоцене. Это первое, древнейшее межледниковье на территории Беларуси, наступившее после наревского оледенения. Ледник в большой степени преобразовал рельеф Подляско-Брестской впадины. Он оставил после себя моренные равнины в бассейне Нарева, севернее и северо-западнее Каменца. Обширные флювиогляциальные равнины располагались в районе г. Бреста. В понижениях размещались озера и болота, формировалась речная сеть [3].

Довольно активно в беловежское время протекали тектонические процессы. Об этом свидетельствуют условия залегания озерных и аллювиальных комплексов [9]. Такие движения привели в ряде случаев к инверсии существовавшего ранее рельефа. На-



пример, на участке между дд. Кабаки и Старые Пески Березовского района Брестской области на месте поднятия сформировалось довольно крупное понижение. Заметно возросли расчлененность и генетическое разнообразие рельефа. Господствовавшие ранее денудационные поверхности уступили место ледниково-аккумулятивным формам. Ведущим типом рельефа стали зандровые равнины, над которыми на 5–10 м возвышались моренные равнины и на 40–60 м краевые ледниковые образования.

Рельеф на территории Подляско-Брестской впадины в беловежское время был сравнительно выровненный, с повышением на самом юге. Это повышение носило платообразный характер, имело относительные высоты до 60 м. Повсеместно отмечались котловинообразные и ложбинообразные понижения. Самая глубокая ложбина проходила между Ивацевичами и Березой в направлении на Пружаны, Каменец, Высокое. В дальнейшем это понижение частично наследовалось верховьями рр. Ясельда и Лесная. Глубина описанной линейной депрессии 40–60 м. Вторая крупная ложбина выявлена по линии Порозово – д. Тиховоля. В дальнейшем она была унаследована р. Нарев.

Исходя из наличия ложбин и их направления, обнаруженных аллювиальных фаций в межледниковых отложениях, можно говорить и о сравнительно разветвленной речной сети, близкой по густоте брестскому времени. По данным Г.И. Горецкого [9; 16], крупные реки протекали в пределах или вблизи своих современных долин. По сравнению с брестским временем несколько севернее стало положение долин Пра-Лесной и особенно Пра-Мухавца [17]. В пределах рассматриваемой территории существовало большое количество озер, однако площадь отдельных водоемов была невелика. Озера располагались на всей территории сравнительно равномерно. Некоторое сгущение водоемов можно наблюдать между дд. Кабаки и Старые Пески.

5 Березинский этап

Похолодание климата в конце беловежского межледниковья привело к новому оледенению – березинскому. Движение льдов, по мнению исследователей, происходило с северо-запада и севера–северо-запада. Березинское оледенение было более значительным, чем наревское. Предельная граница распространения льдов проходила в основном южнее территории Беларуси, т.е. ледник покрывал почти весь исследуемый регион.

А.В. Матвеев и др. [2], судя по расположению моренных отложений, ложбин ледникового выпахивания и размыва, предполагают, что безледные условия в это время существовали южнее линии Столин – Петриков – Ельск. Но высказывались и другие взгляды. В частности, согласно данным М.М. Цапенко [13] и Е.П. Мандер [18], ледник продвинулся до северных отрогов Украинского щита, а его граница прослеживается по линии, проходящей от западной границы Беларуси с Польшей, по долине Припяти на восток до оз. Белое, юго-восточнее Пинска. Б.Н. Гурский [12] полагал, что южнее всего березинский ледник опускался на западе впадины и следы его отмечаются восточнее г. Камень-Каширский Украины. Л.Н. Вознячук [4] границу березинского оледенения проводил от юго-восточной Польши, в западных областях Украины в районе Самбора, Львова, Брода и далее на восток вдоль северного уступа Волынской возвышенности, считая, что березинский ледник полностью перекрывал территорию Беларуси.

Надвигание и деградация ледника были довольно сложными. Г.И. Горецкий [16] считал, что в развитии оледенения выделялось не менее двух стадий и одной крупной осцилляции. Движение льда в основном шло с северо-запада. Ледник дифференцировался на три потока; в пределах Подляско-Брестской впадины, как и в наревское время, выделяют неманский поток, который покрыл всю ее площадь. При деградации ледника происходили его неоднократные остановки. В соответствии с этим выделяется выдер-



жанные по простиранию, но по-разному выраженные полосы ледниковых возвышенностей. Ранг этих остановок (стадия, фаза, осцилляция) в настоящее время однозначно установить не представляется возможным [2].

Березинское оледенение значительно преобразовало созданную ранее поверхность. Расчлененность рельефа вызывала усиление не только процессов ледниковой экзарации и эрозии, но и аккумуляции. Экзарация и эрозия привели к переуглублению некоторых ложбин, существовавших ранее, и создали новые ледниковые ложбины выявленные по многочисленным буровым скважинам. Основная часть ложбин имеет глубину вреза 30–70 м. Днище их опущено до абсолютных отметок 6–85 м [3].

Распределение моренных отложений, созданные ими формы рельефа позволяют сделать вывод о ритмичном отступании ледникового покрова. Последними исследованиями установлены три полосы встречаемости моренных форм рельефа, разделенные зонами водно-ледниковых равнин. Это приводит к предположению о неравномерной деградации ледника.

Отложения южной (великоритской) фазы четко выделяются в западной части впадины – южнее дд. Медна – Великорита – оз. Луково. Эта полоса сплошного распространения моренных отложений уходит и далее на восток, но сохранились лишь небольшие ее фрагменты. Моренные образования средней фазы (пинской) прослеживаются по линии Брест – Верховесье – Крытышин – южнее Пинска – Дятловичи на абсолютных отметках в среднем 100–120 м. Самая северная на исследуемой территории задержка ледникового покрова происходила вдоль линии Янов Подляский – Пружаны – Селец. Представлена почти сплошной полосой распространения моренных отложений с абсолютными отметками 100–140 м. Размыты тальными водами отмечаются в районе долины Нарева.

Березинское оледенение имело немаловажное значение при формировании крупных современных форм рельефа. Одной из них является Загородье. Моренные отложения распространены в центральной части Загородья. Здесь выделено два крупных массива на абсолютных отметках 100–120 м, имеющих субмеридиональное простирание: в районе Хомск – Дрогичин – Иваново – Клементово – Вулька Попинская и между населенными пунктами Чемерин – Бродница – Переруб. Березинская морена часто залегает непосредственно под днепровской. В таких случаях разновозрастность их определяется по цвету, составу и условиям залегания.

В период березинского оледенения широкое распространение получили зандровые равнины, сложенные водно-ледниковыми образованиями. В суровых климатических условиях существовали потоки и водоемы талых ледниковых вод. При отступлении ледника возникла довольно густая сеть приледниковых озер. Некоторые из них продолжали развиваться в последующее межледниковье, став типичными водоемами гумидной зоны. В долинах крупных современных рек – Зап. Буга, Мухавца, Лесной и их основных притоков часто встречаются гляциоаллювиальные отложения.

6 Александрыйский этап

Временные рамки рассматриваемой межледниковой эпохи, по данным изотопных и термолюминесцентных методов, оцениваются в Европе интервалом от 350 тыс. до 300 тыс. лет [19]. Геологические и палеонтологические исследования, проведенные в последние годы в Беларуси, показали, что анализируемый интервал геологической истории по длительности не был, как считалось ранее, больше других интергляциалов плейстоцена. В то же время другой вывод о несколько более влажном и прохладном климате этого



межледниковья, по сравнению с беловежским и муравинским, получил новое подтверждение [2].

Березинский ледник, предшествовавший александрийскому межледниковью, оказал большое влияние на формирование орографии территории Подляско-Брестской впадины в межледниковое время. Этим ледниковым покровом частично сnivelированы или переуглублены существовавшие ранее ложбины и долины, надстроены положительные формы рельефа. Водно-ледниковые потоки, образовавшиеся в результате таяния ледника, несколько сократили разницу высот. В целом расчлененность рельефа в александрийское время по сравнению с предшествующими эпохами значительно уменьшилась.

Судя по условиям залегания александрийских отложений, во время их накопления в целом уменьшилась интенсивность и дифференцированность тектонических движений. Анализ гипсометрического положения подошвы александрийских осадков показал, что абсолютные высоты относительно выдержаны и колеблются в основном в интервале 80–120 м. Глубина отрицательных форм 30–60 м. Самые низкие отметки в разрезах Ставы (59,0 м) Каменецкого района. Наиболее приподнята подошва данных образований в разрезе Шестаково (150,2 м) Каменецкого района. Наиболее приподнятыми были участки современных повышений у Коссово и Березы, юго-восточнее Бреста. Относительно опущенной по сравнению с окружающей территорией была поверхность Подляско-Брестской впадины [3].

Преобладающим компонентом геоморфологического строения являлись моренные и водно-ледниковые равнины. Моренные равнины сосредоточены главным образом в западной части впадины, в то время как в восточной основу составляют флювиогляциальные равнины. В западной части (севернее Малориты – Брест – Шерешево – Ганцевичи) и на юго-востоке распространены озерно-аллювиальные и озерно-болотные равнины.

Особенность александрийских ландшафтов заключалась в наличии большого количества озер, которые концентрировались в периферических частях возвышенностей, многочисленных ледниковых ложбинах и в гляциокарстовых котловинах. Можно сказать, что в течение александрийского межледниковья территория впадины представляла собой настоящий озерный край; озерность составляла до 20 % [8].

Реконструкция существовавших в то время озерных водоемов производилась по анализу накопившихся в них отложений. Анализ условий залегания межледниковых образований позволил восстановить картину распространения озер в александрийское время [17]. Судя по накопившимся осадкам, глубины некоторых озерных котловин (Ставы – 26,5 м) были значительными, но на протяжении межледниковья непостоянными. Об этом свидетельствует характер отложений – переслаивание нескольких литологических разностей. Размещаясь в области распространения березинского ледникового покрова, озера занимали котловины, образование которых связано с деятельностью ледника. Обстановка, сложившаяся в то время на территории Подляско-Брестской впадины, возможно, напоминала ту, которая была на севере Беларуси после отступления поозерского ледника. Пользуясь классификацией типов котловин современных озер, предложенной О.Ф. Якушко [20], исходя из анализа глубин, характера осадков, условий залегания, по аналогии можно выделить подпрудные (озерный водоем в районе дд. Новоселки – Броды – Александричи) и ложбинные (у д. Ставы) озера. Водоемы были значительно распространены и в пределах речных долин.

В александрийское время территория дренировалась густой сетью рек, формировавшейся в условиях влажного климата. В целом густота речной сети почти соответствовала современной. Крупные реки располагались в основном на месте своих современных



долин, поскольку здесь же сохранились погребенные аллювиальные свиты. В связи с влажностью климата водообильность рек была велика. По сравнению с беловежским временем долина Пра-Лесной в нижнем течении реки располагалась еще севернее и имела почти широтное простираие; долина Пра-Мухавца также располагалась севернее, однако была несколько южнее современного положения [17]. К концу межледниковья реки расширили свои долины, размеры которых приблизились к современным.

7 Припятский этап

Характерной особенностью припятского этапа явилось развитие самого мощного на территории Беларуси плейстоценового ледникового покрова, сыгравшего важную роль в формировании облика современного рельефа. В его истории выделяется две стадии – днепровская и сожская.

Днепровский ледниковый покров сыграл значительную роль в развитии природы и становлении современного облика территории Подляско-Брестской впадины. В то же время на развитие ледникового покрова, его распространение и мощность значительное влияние оказали подстилающие породы, гипсометрические показатели и неотектонические движения. Как было сказано выше, наиболее пониженной в предшествующий днепровскому оледенению период была, западная часть Брестского Полесья. Поэтому здесь широко распространены моренные отложения днепровского возраста. Они отмечаются практически сплошной толщей разной мощности, отсутствуя в местах размыва тальми ледниковыми водами, по долинам некоторых рек.

Исследователями высказываются различные мнения о границе распространения днепровского ледникового покрова. Большинство проводят южную границу за пределами территории Беларуси, и днепровский ледник считают максимальным, во всяком случае, на западе Восточно-Европейской равнины. Но есть и другие точки зрения. В частности, Г.Г. Грузман [14] считал, что участок от Пинска до Столина не перекрывался ледником. Мысль об отсутствии морены максимального (днепровского) оледенения на юге Беларуси не нова. Еще П.А. Тутковский [21] высказывал предположение о существовании в Полесье «безвалунной области», куда ледник вроде бы не заходил. Он считал, что возвышенности между Минском и Новогрудком задержали продвижение ледника к югу. Д.Н. Соболев [22] объяснял «безвалунность» области размывами морены тальми ледниковыми водами.

Под влиянием глетчера активизировались тектонические процессы. Произошел некоторый относительный подъем юго-западной части Беларуси. Тектонические движения повлияли на расположение краевых ледниковых комплексов и гляциодислокаций. Судя по геологическим данным, в днепровском покрове выделялось четыре потока [2]; в пределах Подляско-Брестской впадины, также как и в наревское и березинское время, выделяют неманский поток, в структуре которого в разные этапы формировались многочисленные лопасти и языки. Так, Б.Н. Гурский [12] указывает, что особенно заметно обособлялась лопасть в междуречье Мухавца и Лесной и др.

Днепровский ледник создал экзарационные и аккумулятивные формы рельефа. К экзарационным относятся ложбины ледникового выпахивания и размыва. Основная часть ложбин расположена в западной и центральной частях Подляско-Брестской впадины. Врез ложбин составляет 30–70 м (максимум до 90 м), абсолютные отметки днища 60–110 м. Ложбины днепровского времени менее выражены в погребенном рельефе, чем более древние. Аккумуляция ледника выразилась в надстройке ранее существовавших повышений рельефа, в заполнении водно-ледниковыми и собственно ледниковыми (моренными) отложениями ложбин, созданных как предыдущими оледенениями, так и са-



ним днепровским ледником. Широко распространились и зандровые песчаные отложения. Аккумуляционные процессы привели к выравниванию поверхности [3].

Характерным элементом ландшафта во время оледенения были озерно-ледниковые водоемы. Образовались они в период наступания и отступания ледника на его поверхности при таянии льда. Крупные водоемы существовали у д. Тришин Брестского района, д. Ракитница Жабинковского района Брестской области и др.

Характер деградации ледника был прерывистым [8; 12]. Это вызвало формирование нескольких цепей краевых гряд, которые образуют повышенные участки рельефа. Такие повышения прослеживаются по линии Брест – южнее Кобрин – Иваново. Слабее выражена зона днепровских поднятий, расположенная севернее. Она проходит через верховье Правой Лесной – южнее Пружан – оз. Белое. Комплексы краевых образований представлены различными типами возвышенностей – грядами, камами, озами и др. Значительное распространение имеют и напорные формы. Вдоль краевых гряд и между ними развивались ложбины стока талых ледниковых вод, частично унаследованные реками.

Таким образом, эти краевые ледниковые комплексы определяют основные орографические черты земной поверхности исследуемой территории, своеобразие современного распределения рек, озер и болот. Из других важнейших результатов геологической деятельности этого ледникового покрова можно отметить практически полное исчезновение древних денудационных уровней, которые были перекрыты ледниковыми отложениями.

В период днепровского оледенения существовали суровые климатические условия. Возрождение гидросети произошло только после отступания ледникового покрова. Созданные и унаследованные в это время неровности рельефа предопределили местоположение современных водотоков и водоемов территории Подляско-Брестской впадины. Речные долины региона после отступания днепровского ледника были близки к современным [17]. Аллювиальные отложения встречаются небольшими по площади участками в долинах современных рек – Лесной, Ясельды и других, в ложбинах стока талых ледниковых вод, на заболоченных равнинах, на понижениях палеорельефа.

В сожское время отступивший на время ледниковый покров снова перекрыл значительную часть территории региона. Граница его предельного распространения является достаточно спорной [12; 13]. По итогам геолого-съёмочных работ установлено, что край ледника в пределах Подляско-Брестской впадины проходил по линии Беловежа – Шерешево – Линово – Кабаки – Береза и далее за ее пределы [23]. Очевидно, что при распространении сожского ледника снова произошло опускание исследуемой территории, что и обусловило здесь наибольшее продвижение льдов к югу.

Структура ледникового покрова была сложной. Анализ положения основных цепей возвышенностей и гряд, ледораздельных массивов свидетельствует о том, что в теле ледникового щита формировалось пять потоков; в пределах Подляско-Брестской впадины, аналогично предыдущим этапам, выделяют неманский поток. В результате его деятельности произошло окончательное формирование поверхности впадины. Им были надстроены некоторые формы рельефа, созданные предыдущим днепровским ледником. Сожский ледник сформировал краевые гряды, образовал участки моренных равнин, флювиогляциальные равнины. В результате аккумулятивной деятельности абсолютные отметки в зоне распространения ледника возросли на 30–40 м.

Б.Н. Гурский [12] выделяет две стадии ледникового покрова, названные им славгородской и могилевской. Основную часть территории юга впадины занимают образования славгородской стадии. Мощность ее морены не превышает 10–20 м, но в пределах



Леснянской ложбины в районе Каменца увеличивается до 50 м. Граница распространения совпадает с предельной границей сожского оледенения. Им также выделяются две фазы деградации славгородской стадии сожского ледника – барановичская и новодворская. Краевые образования барановичской стадии на исследуемой территории располагаются в районе Пружан – Березы. Положение края льда северной новодворской фазы намечается по линии дд. Незбодичи – Новый Двор. Граница ледникового покрова могилевской стадии проходила по линии Свислочь – Порозово – Ружаны и далее на северо-восток за пределы впадины. Сожский ледник покрывал только северо-западную часть впадины, где и отложились собственно ледниковые осадки. На остальной территории широким шлейфом расположены водно-ледниковые и озерно-ледниковые образования. Сожский ледник не только аккумуляровал отложения, но и производил значительную эрозивную деятельность. Им созданы ложбины ледникового выпахивания и размыва у дд. Котра, Ятвезь. Глубина ложбин 30–40 м. Абсолютные отметки тальвегов 95–117 м. В период оледенения за пределами границы распространения льда кроме образования зандров происходили солифлюкционные и денудационные процессы. Во время таяния льдов усилились аллювиальные процессы [3].

Упомянутая выше дифференциация неотектонических движений отразилась и на распределении водных потоков при таянии льда. Направление стока талых ледниковых вод с севера на юг оказало влияние на распределение и развитие речной сети. Поэтому в южной части территории отсутствовали крупные приледниковые озера, но небольшие по площади водоемы встречались довольно часто. Для них, как правило, были характерны значительные глубины. При стабилизации края ледника сформировались обширные нередко двухуровневые зандровые равнины Предполесья и Полесья. Среди них по мере отступления покрова появились термокарстовые озера. Значительно возросла площадь моренного рельефа.

На юге могли существовать реки, в которых накапливался перигляциальный аллювий. По мере деградации ледника речная сеть постепенно восстанавливалась [2]. Схему этого процесса на примере Немана описали Л.Н. Вознячук и М.А. Вальчик [24]. Очевидно, по сходной схеме возрождались и другие реки бассейна Балтийского моря. Возникшие в раннем плейстоцене северные притоки Припяти в сожское, а затем и в более позднее время приобрели современные черты.

8 Муравинский этап

Поздний плейстоцен начинается муравинским межледниковьем. Отложения муравинского межледниковья хорошо коррелируются не только с континентальными, но и с морскими толщами других регионов. На сегодняшний день, вместе с поозерским оледенением это единственное крупное подразделение плейстоцена, по которому возможно достоверно проводить глобальные корреляции на основе изотопно-кислородных данных.

Ранее существовало несколько точек зрения на время начала этого периода. Одни авторы считали, что возраст начала муравинского межледниковья около 0,11 млн. лет [13], другие – около 0,12 млн. лет [4]. Сегодня высказывается мнение о начале межледниковья 0,13 млн. лет назад [2]. При этом почти все исследователи, занимающиеся вопросами геохронологии, отмечают относительную кратковременность этого межледниковья. События, происходившие во время этого межледниковья, накануне его, и в ранние фазы следующего (поозерского) оледенения, выяснены лучше, чем для других интергляциалов. Это позволяет считать историю развития природы в муравинское время в качестве типовой для плейстоценовых межледниковий.



Сожский ледниковый покров припятского оледенения – последний, достигший территории Подляско-Брестской впадины – сформировал муравинскую орографию этого района, в общих чертах близкую к современной. В результате деятельности этого ледника приподнятой оказалась северная часть района. Здесь располагаются моренные и флювиогляциальные равнины, сформированные в сожское время. Эволюция климата с момента резкого потепления в конце сожского этапа протекала под знаком уменьшения континентальности, увеличения влажности и температуры воздуха. Потепление и связанная с ним деградация льдов привела к гляциоизостатическому поднятию, смене нисходящего развития территории восходящим. Это, в свою очередь, вызвало врезание рек, углубление долин, появление цокольных террас. Происходило интенсивное таяние «мертвого» льда, и постепенно исчезала многолетняя мерзлота. На месте возникших депрессий образовались озера.

Постепенно сложилась близкая к современной речная сеть. В речных долинах продолжалось формирование вторых надпойменных террас. Долина р. Мухавец занимала очень близкое к современному положение. Современная долина р. Лесная лишь начинала выработываться: самой реки в то время не было, а на месте современной нижней части долины находилась крупная палеоложбина. Водораздел между бассейнами Карангатского (Черного) и Эемского (Балтийского) морей практически совпадал с современным [2].

Гипсометрическое положение образований муравинского времени отражает основные особенности современного рельефа. Анализ показал, что наиболее высокий уровень осадков связан с северной и южной частями впадины. Высоко залегает подошва муравинских межледниковых отложений в разрезах Великое Село Пружанского района (170,3 м) на глубине 2,7 м от земной поверхности, а самый низкий уровень связан с центральной частью, долиной Зап. Буга – 125,0 м). Мощность отложений колеблется от 0,3 м в разрезе Радеж Малоритского района до 55,8 м у д. Гершоны Брестского района [3].

С началом похолодания в позднемежледниковье стали усиливаться процессы денудации, что приводило к понижению и выравниванию территории. В деятельности рек произошли изменения. Этап врезания сменился этапом аккумуляции материала, получило развитие меандрирование, образование староречий. В долинах и понижениях уменьшилось или даже прекратилось накопление известковых туфов, а в озерах – мергелей и сапропелей. Постоптимальное время явилось этапом заболачивания озер, увеличения площади болот на водоразделах.

9 Поозерский этап

Поозерское время – этап геологической истории от конца муравинского межледниковья до начала голоцена. По современным представлениям он длился от 0,11 млн. лет до 0,01 млн. лет назад. За это время на территорию Беларуси вторгнулся один ледниковый покров. Во время его развития климат был, пожалуй, одним из самых суровых за весь четвертичный период, что обусловило интенсивное протекание процессов перигляциального морфогенеза и широкое распространение во внеледниковой зоне субарктической растительности. Другой характерной особенностью этого этапа явилось появление в регионе человека [2].

В эволюции природных событий поозерского, как, впрочем, и всех других ледниковых интервалов плейстоцена, выделяется несколько этапов. В начале его природная обстановка была переходной от межледниковой к настоящей ледниковой. В течение этого интервала ледниковый покров со своего центра в Фенноскандии медленно растекался к югу. Во внеледниковой зоне, к которой относится и территория Подляско-Брестской впадины, происходило заполнение речных долин и озерных котловин аллювиально-



делювиальными осадками, началась трансформация межледниковых биоценозов в перигляциальные. Процесс перехода от межледниковья к оледенению носил ритмический характер, что проявилось в чередовании похолоданий и потеплений между ними.

В позерское время на территорию Подляско-Брестской впадины поступало значительное количество вод. Это способствовало образованию довольно широких надпойменных террас, многочисленных озер и озерно-аллювиальных низин. Между браславской и оршанской стадиями оледенения происходило врезание рек, начали спускаться озера. Установлено, что в браславскую стадию оформилась первая надпойменная терраса крупнейших рек территории впадины, начал вырабатываться уступ от первой надпойменной террасы к пойме. Появление этого уступа, вероятно, произошло позднее – в голоцене [3]. Реликтами позднепоозерского этапа считаются наиболее крупные озера территории. Однако большинство озер того времени просуществовали недолго, и вскоре на их месте возникли торфяники [17].

С интервалом времени приблизительно 27–24 тыс. лет назад связывается первоначальное заселение территории Беларуси палеолитическим человеком. Однако его пребывание здесь было непродолжительным. Вскоре он вынужден был отступить к югу под натиском усиливающегося похолодания [2]. В позднеледниковое время после отступления ледникового покрова с территории Беларуси наблюдается колебание климата, и выделяются три холодных (дриас-1, дриас-2, дриас-3) и два теплых (беллинг и аллеред) этапа.

Дриас-1 (около 14000–12800 лет назад). Территория Подляско-Брестской впадины развивалась в условиях сухого резко континентального климата. Обширные пространства были покрыты сосновыми лесами.

Беллинг (12800–12100 лет назад). Расширение лесов, главным образом сосново-березовых. Температура июля была ниже современной на 0,5–1°C, января – на 1,5°C, среднегодовая – на 1°C. Осадков выпадало меньше на 75–100 мм.

Дриас-2 (12100–11800 лет назад). На территории Подляско-Брестской впадины установился умеренный климат, произрастали леса, в которых количество сосны несколько увеличилось, а березы уменьшилось.

Аллеред (11800–10900 лет назад). Предполагается, что теплый период аллереда оказал существенное влияние на весь ход природных процессов. Прогревание поверхностного субстрата вызвало его осушение, что способствовало развеванию песков. В пределах впадины преобладали песчаные почвы с низким уровнем грунтовых вод. Температура июля близка к современной, январская ниже на 1–3°C, среднегодовая – на 1–2°C, осадков выпадало меньше на 25–50 мм.

Дриас-3 (10900–10200 лет назад). Произошло краткое, но значительное похолодание климата. Предполагается, что по сравнению с современными среднегодовая температура была ниже на 3–5°, июля – на 1–2°, января – на 4–5°, осадков меньше на 100 мм. В позднем дриасе открытые пространства достигали максимального развития. Сосново-березовые леса занимали островное положение, располагаясь на возвышенностях [2].

10 Голоценовый этап

Характеризуемый этап имеет продолжительность чуть более 0,01 млн. лет. За этот возрастной интервал происходили относительно небольшие колебания климата, сформировался современный облик растительного и животного мира, рельефо-образование и осадконакопление протекали в обстановке, близкой к современной. Ведущую роль в изменении земной поверхности играл флювиальный фактор, а в последнее столетие на первое место выдвинулись техногенные процессы.



В строении рельефа исследуемой территории в голоцене наиболее высокое положение занимали южные районы Волковысской возвышенности. Из других повышенных территорий выделялись Высоковская, Пружанско-Коссовская, Малоритская равнины, т.е. так же, как и сейчас, высокое положение в рельефе занимал север и запад района, отдельные участки юга. Пониженные территории были частично заняты болотными массивами. Самые крупные из них располагались в междуречье Нарева и Ясельды, Мухавца и Припяти и др.

Важным элементом строения рельефа являлись озерные котловины, часть из которых была термокарстового и карстового происхождения, часть относилась к полесскому типу – озера-разливы. В пределах Подляско-Брестской впадины типичными являются крупные озерные водоемы, существовавшие в начале голоцена между гг. Кобрин и Дрогичин, а также на месте современного болота Дикое. Их возникновение связывается с поозерским ледниковым покровом [3]. О значительном распространении озер свидетельствуют отложения в виде мергелей, сапропелей, алевролитов, содержащих растительные остатки, подстилающие торфяные залежи в современных болотных массивах. Глубина озер в среднем составляла 5–7 м, а в карстовых и термокарстовых озерах она была значительно больше.

Таяние поозерского ледника повысило водообильность в речных системах, что привело к усилению эрозионных процессов и дальнейшему преобразованию долин рек, связанному с созданием в конце поозерского времени уступа первой надпойменной террасы, а в конце бореального и начале атлантического времени и пойм рек.

Территория Подляско-Брестской впадины – своеобразная провинция, выделяющаяся из лесной полосы ландшафтами, климатом, почвами, растительностью. Значительные пространства болот и лесов, изрезанные многочисленными реками, наличие возвышенных участков – все это оказались очень удобным для первобытных людей. Здесь они находили места, удобные для поселения, материал для сооружения жилищ, запасы пищи, россыпи кремня, необходимого для изготовления орудий труда [25].

Новые данные, полученные при изучении отложений голоцена палеоботаническими, радиоуглеродным, изотопным и геохимическим методами, а также палеоклиматические реконструкции и корреляция природных событий с близлежащими регионами позволили частично пересмотреть ранее опубликованные представления о ходе природных процессов в голоцене [26]. Периодизация событий голоценового времени, приводится в соответствии со стратиграфической схемой, разработанной А.В. Матвеевым и другими авторами в последние годы [2].

Пребореал (10200–9000 лет назад). Начало голоцена представляет собой важный палеогеографический рубеж, связанный с переходом от субарктических условий позднеледниковья к умеренно теплomu климату голоцена. Температуры июля в начале пребореала были близки к современным, января – ниже на 1–2°C, а осадков выпадало меньше на 25–50 мм. В соответствии с изотопными исследованиями, рост среднегодовых температур отмечается с конца позднего дриаса до середины пребореала. Климат завершающей фазы пребореала характеризуется понижением июльских температур на 1–2°C, январских – на 2–3°C, по сравнению с современными, и повышением количества осадков до современных показателей.

Бореал (9 000–7 800 лет назад). На протяжении бореального периода отмечаются изменения климата, как в сторону потепления, так и похолодания. В период от 9 000 до 8 400 лет назад температуры января были ниже всего на 0,5–1°C, июля – равны современным, а количество осадков соответствовало современному, либо было меньшим на



25–50 мм. В целом теплые условия первой половины бореального времени и изменения в растительном покрове способствовали активизации эоловых процессов. Усилились процессы заболачивания озерных котловин, что подтверждается бореальным возрастом торфа, залегающего на озерных осадках в некоторых озерах региона. В конце периода произошло похолодание климата, временной интервал которого на территории Беларуси лежит между 8 400–7 800 лет назад. Температуры января были на 1,5–2°C, июля на 0,5–1°C ниже современных, количество осадков около 8 000 лет назад равнялось современному, либо было выше на 25–50 мм. Согласно расчетам, проведенным по изотопным данным, от начала бореала до пика похолодания (около 8 200–8 300 лет назад) среднегодовая температура могла упасть на 6,5°C. В долинах рек возросла интенсивность паводков, что сопровождалось накоплением аллювия повышенной мощности. В болотах образовались слои заиленного, а в пределах речных долин опесчаненного торфа.

Атлантика (7 800–5 000 лет назад). После бореального похолодания происходит быстрое потепление – наступает температурный максимум голоцена, который отмечается около 5 500 лет назад повышением летних и зимних температур на 1–2°C и понижением количества осадков на 25 мм по сравнению с современными значениями. Изменения климата сказались на почвообразовательных процессах, тесно связанных с составом и строением подстилающих отложений. В районах с преобладанием песков развивались в основном подзолистые почвы, на суглинистых и лессовидных отложениях – дерново-подзолистые, дерново-карбонатные, на обводненных участках – дерново-подзолистые, глеевые и заболоченные почвы. С понижением уровней озер в начале периода связано усиление процессов заболачивания древних озерных котловин. В большинстве случаев озерные отложения атлантического периода представлены смешанными, тонко- и грубо-детритовыми сапропелями, различными илами. Процессы накопления известкового типа осадков продолжались в местах распространения карбонатных отложений, причем в их составе существенно возросла роль органического вещества. В середине периода повышение влажности климата и понижение температур способствовали не только подъему уровней озер, но и усилению процессов заболачивания междуречий.

Суббореал (5 000–2 700 лет назад). В течение суббореала происходили частые колебания климата, как в сторону похолодания, так и потепления. В начале периода отмечается падение температур января на 1–2°C, июля на величину не более 1°C ниже современных, а количество осадков превышало современные на 25–50 мм. Климатические колебания способствовали активизации эрозионных процессов. В начале периода произошло повышение уровней озер на большей части региона. В осадках возросла роль терригенного материала, накапливались кремнеземистые сапропели, опесчаненные карбонатные сапропели и илы. В середине суббореального этапа температуры июля и января в среднем были на 0,5–1,0°C выше, а количество осадков на 25 мм ниже современных. На завершающем этапе суббореала отмечается похолодание климата с понижением июльских и январских температур на 1°C и уменьшением осадков на 50 мм относительно современных значений. Усиливаются эрозионные и делювиальные процессы. Повышается обводненность торфяных массивов с образованием озерных окон, отмечается слияние изолированных болот в болотные системы, особенно в пределах низин.

Субатлантика (2 700 лет назад – ныне). Согласно палеоклиматическим реконструкциям, в начале периода увеличилось количество осадков, температура июля повысилась на 1°C выше современных значений, а января – до уровня современной. Средняя часть периода была довольно теплой и влажной. Однако отмечается понижение июльских температур до современных, а январских – на 1°C ниже современных значений. Ко-



личество осадков превышало современное на 50 мм. Усилились процессы заболачивания озерных котловин. Повышенное содержание органического вещества (до 60–80 %) указывает на возрастание эвтрофикации водоемов. С середины периода начинается этап активизации эрозионных процессов в речных долинах. Интенсификация седиментации была обусловлена повышением влажности климата и увеличением антропогенного влияния. Похолодание климата, увеличение влажности и распашка территории способствовали усилению линейной эрозии и склоновых процессов. Наиболее ярко плоскостной смыв фиксируется в разрезе аллювиальных осадков на рубеже последнего тысячелетия. В озерах происходило резкое, не характерное для предшествующей истории накопление глинистого материала с примесью органики, а также кремнеземистых и органических сапропелей, органических и опесчаненных илов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология Беларуси / под ред. А.С. Махнач, Р.Г. Гарецкого, А.В. Матвеева. – Мн. : ИГН НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
2. Четвертичный период (квартер) / Ф.Ю. Величkevич, В.П. Зерницкая, Э.А. Крутоус и др. // Палеогеография кайнозоя Беларуси / Под ред. А.В. Матвеева. – Мн. : ИГН НАН Беларуси, 2002. – С. 75–143.
3. Гречаник, Н.Ф. Основные эпохи и этапы развития рельефа на территории Подляско-Брестской впадины / Н.Ф. Гречаник // Веснік Брэсцкага ўн-та. – 2006. – № 3 (27). – С. 100–110.
4. Вознячук, Л.Н. Основные стратиграфические подразделения четвертичных отложений / Л.М. Вознячук // Материалы по стратиграфии Беларуси. – Мн., 1981. – С. 138–151.
5. Махнач, Н.А. Палинологическая характеристика древнейших отложений антропогена Белоруссии / Н.А. Махнач // Пограничные горизонты между неогеном и антропогеном. – Мн., 1977. – С. 215–234.
6. Горецкий, Г.И. О критериях определения границы между неогеном и антропогеном / Г.И. Горецкий // Пограничные горизонты между неогеном и антропогеном. – Мн., 1977. – С. 8–55.
7. Костко, А.А. Роль ледника в формировании субантропогеновой поверхности Белоруссии / А.А. Костко // Тектоника и проблемы формирования осадочного чехла Белоруссии. – Мн., 1975. – С. 74–80.
8. Матвеев, А.В. История формирования рельефа Белоруссии / А.В. Матвеев. – Мн. : Навука і тэхніка, 1990. – 144 с.
9. Горецкий, Г.И. Аллювиальная летопись великого Пра-Днепра / Г.И. Горецкий. – М., 1970. – 144 с.
10. Кузнецов, В.А. Геохимия аллювиального литогенеза / В.А. Кузнецов. – Мн., 1973. – 157 с.
11. Неотектоника и полезные ископаемые Белорусского Полесья / А.В. Матвеев, Э.А. Левков, Л.Ф. Ажгиревич и др. – Мн. : Наука и техника, 1984. – 134 с.
12. Гурский, Б.Н. Нижний и средний антропоген Белоруссии / Б.Н. Гурский. – Мн. : Наука и техника, 1974. – 144 с.
13. Цапенко, М.М. Антропогеновые отложения Белоруссии / М.М. Цапенко, Н.А. Махнач. – Мн. : Изд-во АН БССР, 1959. – 225 с.
14. Грузман, Г.Г. Характер распространения и особенности формирования лихвинских диатомовых пород северной Волыни / Г.Г. Грузман, Г.К. Хурсевич,



В.Л. Шалабода // Материалы геологического изучения земной коры Белоруссии. – Мн., 1978. – С. 119–123.

15. Матвеев, А.В. Ледниковая формация антропогена Белоруссии / А.В. Матвеев. – Мн. : Наука и техника, 1976. – 160 с.

16. Горецкий, Г.И. Особенности палеопотамологии ледниковых областей / Г.И. Горецкий. – Мн., 1980. – 134 с.

17. Крутоус, Э.А. Палеогеография антропогена Белорусского Полесья / Э.А. Крутоус. – Мн. : Навука і тэхніка, 1990. – 143 с.

18. Мандер, Е.П. Антропогеновые отложения и развитие рельефа Белоруссии / Е.П. Мандер. – Мн. : Наука и техника, 1979. – 123 с.

19. Mojski, J.E. Europa w plejstocene: ewolucja środowiska przyrodniczego / J.E. Mojski. – Warszawa, 1993. – 121 s.

20. Якушко, О.Ф. География озер Белоруссии / О.Ф. Якушко. – Мн. : Вышэйшая школа, 1967. – 213 с.

21. Тутковский, П.А. Полесская безвалунная область, ее особенности и причины возникновения / П.А. Тутковский // Зап. Киевского об-ва естествоиспытателей. – 1903. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 9–20.

22. Соболев, Д.Н. Геоморфогенез Северо-Польской и Белорусско-Литовской низменности и областей с нею сопредельных. Геоморфологический очерк / Д.Н. Соболев. – ВГФ, БелНИГРИ, 1948. – 195 с.

23. Лявіцкая, Р.І. Аб мяжы маскоўская (сожскага) ледавіка і яго краявых утварэннях / Р.І. Лявіцкая, В.Г. Пасюкевіч // Новае ў геалогіі антрапагену Беларусі. – Мн., 1979. – С. 102–105.

24. Вознячук, Л.Н. Морфология, строение и история развития долины Немана в неоплейстоцене и голоцене / Л.Н. Вознячук, М.А. Вальчик. – Мн., 1978. – 136 с.

25. Богдасаров, А.А. Минералогические особенности белорусских халцедонов / А.А. Богдасаров, М.А. Богдасаров // Кварц. Кремнезем : Мат. докл. семин. – Сыктывкар, 2004. – С. 198–199.

26. Якушко, О.Ф. Изменения климата и формирование природных зон Белоруссии в позднеледниковье и голоцене / О.Ф. Якушко, И.И. Богдель, В.А. Климанов // Палеоклиматы голоцена Европейской территории СССР. – М., 1988. – С. 95–103.

M.A. Bogdasarov, N.F. Grechanik. The Basic Stages of Formation of Quaternary Deposits on the Territory of Podlessko-Brest Depression

In the article on the basis of paleogeographic reconstruction the main stages of the formation of Quaternary deposits on the territory of Podlessko-Brest depression are described. The basic factors of overburden formations are considered in detail. The analysis of factors of formations of relief and of paleogeographical reconstruction have allowed to allocate the general features of relief development and to specify the major role of the glacial covers repeatedly interfered on this territory in a Quaternary.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 20.10.2011 г.



УДК 550.42 (476)

Н.Ф. Гречаник, М.А. Богдасаров

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДОЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ПОДЛЯССКО-БРЕСТСКОЙ ВПАДИНЫ

В статье рассматриваются вопросы тектоники и геологического строения дочетвертичных отложений территории Подляско-Брестской впадины. Дается характеристика кристаллического фундамента и основных структурных комплексов платформенного чехла, рассматриваются вопросы разломной тектоники, дается описание локальных тектонических образований. Охарактеризовано устройство поверхности ложа четвертичных отложений, выделены и описаны формы палеорельефа.

Подляско-Брестская впадина расположена на территории Республики Польша и Республики Беларусь. На тектонической карте СССР изданной в 1956 году белорусская часть этой единой тектонической структуры носила название Брестский прогиб, но в более поздних работах [1; 2] она именуется как Брестская впадина, в то время как польская ее часть известна под названием Подляской впадины [3; 4].

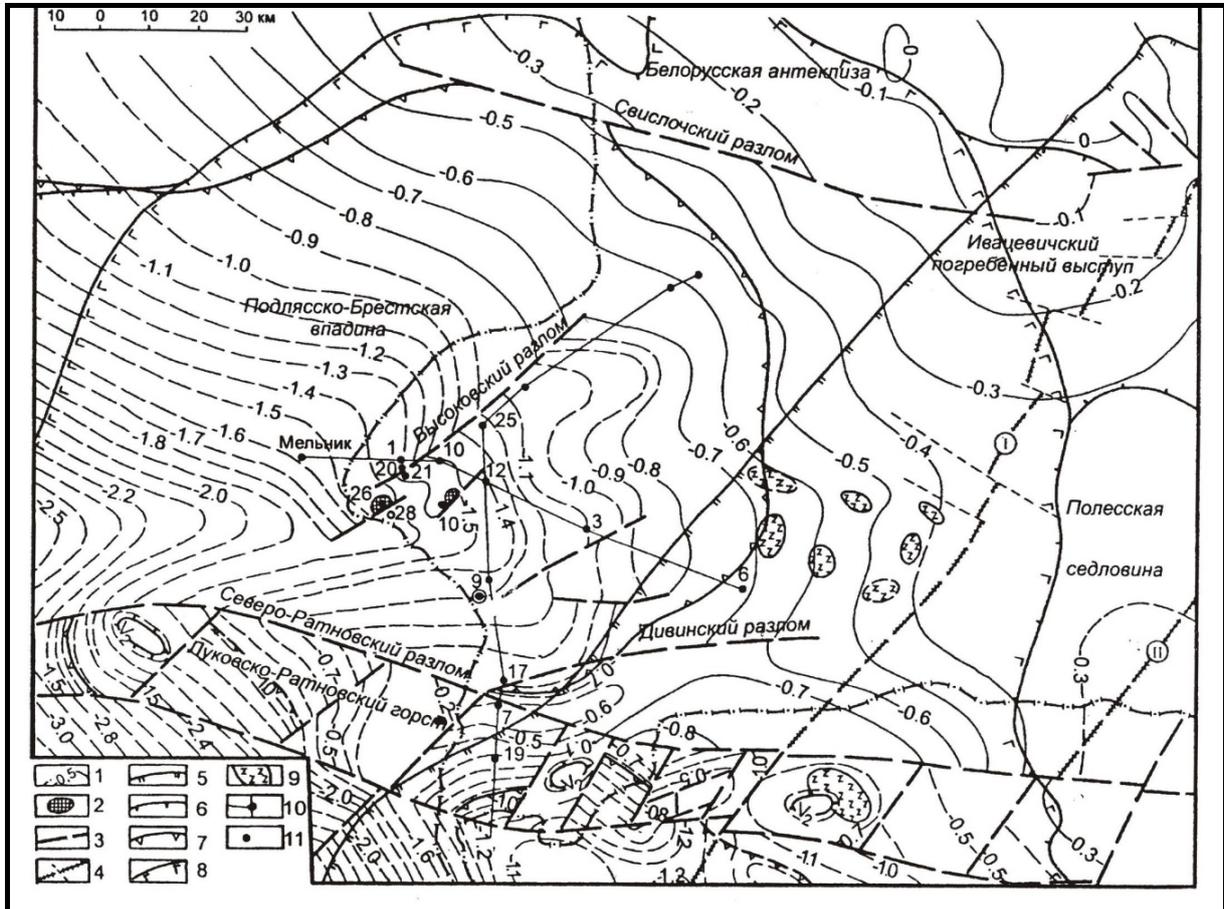
Подляско-Брестская впадина вытянута в субширотном направлении и имеет вид структурного залива, центриклинально замыкающегося на востоке и открывающегося к западу [5; 6]. На севере она граничит с Белорусской антеклизой, от которой отделяется Свислочским разломом, на юге – с Луковско-Ратновским горстом, от которого отделяется Северо-Ратновским разломом. Восточная граница впадины условная и проведена по изогипсе $-0,5$ км. Восточнее этой условной границы расположена Полесская седловина. Длина впадины в пределах Беларуси составляет 160 км, ширина от 80 до 130 км. Осевая часть впадины проходит севернее г. Бреста, южнее г.п. Мельник (Польша), в направлении г. Седльце (Польша). Первичная поверхность кристаллического фундамента впадины погружается в западном направлении от $-0,5$ до $-1,6$ км, а в польской части до $-9,0$ км (рисунок 1).

В геологическом строении кристаллического фундамента Подляско-Брестской впадины в структурном отношении выделяются: Белорусско-Прибалтийский гранулитовый пояс и Смоленвичско-Дрогичинская шовная (Центрально-Белорусская структурная) зона. В составе пород Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса преобладают породы нижнего архея – щучинской серии: амфиболовые и амфибол-двупироксеновые кристаллические сланцы, продукты их ультраметаморфической переработки – эндербиты, чарнокиты и др., реже гранатово-биотитовые гнейсы. В составе нестратифицированных образований этого пояса имеются породы линзокластических, тонкосланцевых, высокотемпературных бластомилонитов. В составе Смоленвичско-Дрогичинской шовной зоны выделяется амфиболито-гнейсовый комплекс пород, включающий гнейсы биотитовые, амфиболово-биотитовые, амфиболовые, амфиболиты и продукты их мигматизации – мигматит-граниты, гранито-гнейсы [7–9].

Строение первичной поверхности осложнено разломами субширотного, восток-северо-восточного и север-северо-восточного простирания. Субширотный Свислочский разлом, протяженностью до 140 км выделен по результатам интерпретации гравитационного и магнитных полей [1]. Разлом сбросового типа. Вертикальная амплитуда сброса пород составляет от десятков метров на востоке, до 100–150 м на западе. Время



заложення – ранний палеозой, наибольшая активизация проявилась в силуре. По глубине проникновения – коровый [10].



1 – изогипсы поверхности фундамента, км; 2 – локальные структуры (Прибугская, Кустинская); 3–4 – разломы: 3 – проникающие в чехол, 4 – не проникающие в чехол (I – Выжевско-Минский, II – Стоходско-Могилевский); 5–8 границы распространения отложений: 5 – нижнебайкальского структурного комплекса, 6 – верхнебайкальского структурного комплекса, 7 – каледонского структурного комплекса, 8 – трапповой формации венда; 9 – интрузии габбро-диабазов; 10 – линии геологических профилей; 11 – скважина и ее номер

**Рисунок 1 – Тектоническая схема Подляско-Брестской впадины
(по Г.В. Зиновенко, Р.Г. Гарецкому [6])**

Субширотный Северо-Ратновский разлом, ограничивающий впадину с юга, выделен по результатам геологической съемки, интерпретации гравиметрического и теллурического полей и данным сейсморазведки. Вертикальная амплитуда разлома изменяется по простиранию от нескольких десятков метров на востоке до 0,8–1,0 км и более на западе. Время заложения – конец раннего палеозоя. В пределах впадины геофизическими методами разведки выявлены разломы северо-восточного направления. Наиболее значительным по амплитуде и протяженности являются Высоковский и Дивинский разломы. Протяженность Высоковского разлома – 65 км, амплитуда по данным бурения составляет более 200 м. Возраст заложения раннепротерозойский, время интенсивного развития относится к венду и раннему девону. С разломом связан вендский трапповый магматизм. Дивинский разлом, протяженностью 87 км, имеет



восток–северо-восточное направление с амплитудой от нескольких метров на востоке и до 300 м на западе.

Эти разломы способствовали смещению поверхности фундамента на ограниченных ими участках, в результате чего были сформированы Высоковский структурный нос и Дивинская ступень, в пределах которой фундамент залегает от 0,6 до 0,8 км. Формирование локальных поднятий (брахиантиклинали) в пределах впадины связано с Прибугским и Кустинским разломами. Протяженность Прибугского разлома 22 км, амплитуда 300 м, а Кустинского – 19 км, амплитуда не превышает 100 м. С этим разломом связан вендский трапповый магматизм. Прибугская брахиантиклиналь простирается в северо-восточном направлении. Площадь ее составляет 12,5 км², амплитуда 75 м. Время заложения – поздний протерозой, основной этап формирования – конец силуранский девон. Кустинская брахиантиклиналь простирается в северо-восточном направлении, площадь 5,25 км², амплитуда 50–60 м. Время заложения – поздней протерозой.

Кроме вышеописанных разломов, по результатам сейсморазведки зафиксированы малоамплитудные сбросы, которые в современном структурном плане поверхности фундамента не играют большой роли. К ним относятся Тришинский и Жабинковский малоамплитудные сбросы. На крайнем юго-востоке впадины по данным аэромагнитной съемки прослежена зона древнего доплатформенного глубинного краевого субрегионального Выжевско-Минского разлома, который простирается за пределы впадины на территорию Полесской седловины и Луковско-Ратновского горста в пределы Украины. Этот разлом слабо выражен в платформенном чехле. Разломы, осложняющие строение поверхности фундамента, проникают и в нижние горизонты отложений, формирующих осадочный чехол.

Таким образом, характерными особенностями кристаллического фундамента Подляско-Брестской впадины являются: сложная структура его поверхности, понижение поверхности с востока на запад (от –0,5 до –1,6 км), ярко выраженная асимметричность (южное крыло крутое, северное – пологое), наличие локальных поднятий. Такой характер строения кристаллического основания способствовал дифференциации процессов накопления отложений платформенного чехла. Образования рифея, венда, кембрия, ордовика, силура, девона, перми, триаса, юры, мела, палеогена, неогена и антропогена составляют платформенный чехол в пределах впадины. Данные образования платформенного чехла белорусской части впадины объединены в структурные комплексы: нижнебайкальский, верхнебайкальский, каледонский, герцинский, мезозойско-альпийский.

Нижнебайкальский (рифейско-ранневендский) комплекс характеризуется красноцветной алеврито-песчаной формацией рифея. Мощность отложений формации до 204 м. Верхнебайкальский комплекс (поздневендско-раннекембрийский) объединяет образования разного генезиса и вещественного состава. Здесь выделяются континентальная гравелито-песчаная, трапповая, вулканомиктовая, морская песчано-глинистая (редкинский и котлинский горизонты венда, ровенский и лонтовасский горизонты кембрия) формации. Мощность отложений – 160 м. Поверхность комплекса осложнена разломами и локальными поднятиями. Каледонский комплекс представлен морскими формациями кембрийского (постбалтийского), ордовикского, силурийского и раннедевонского возраста. Мощность до – 1 000 м. Герцинский комплекс представлен формациями верхнепермского и нижнетриасовых отложений. Мощность отложений герцинского комплекса в пределах белорусской части впадины незначительная и составляет около 60 м.



Мезозойско-альпийский комплекс объединяет отложения от верхнетриасовых до четвертичных включительно. Мощность данного комплекса в пределах Подляско-Брестской впадины составляет от 260 до 500 метров. Отложения комплекса сплошным чехлом покрывают территорию впадины и соседних тектонических структур, они не затронуты разломами. Каждый из вышеперечисленных комплексов представлен различными формациями, типом дислокаций, различными проявлениями тектонических движений.

Основной этап формирования Подляско-Брестской впадины – каледонский. Впадина как самостоятельная структура формировалась в раннем палеозое – силуре и раннем девоне, от среднего девона до раннепермской эпохи впадина развивается относительно спокойно, здесь происходят процессы денудации. В позднепермское время начался новый этап опускания, проявились интенсивные движения по субширотным разломам и впадина приобрела современные границы. Затем опускания территории продолжались с перерывами в мезозое, палеогене и неогене, что обусловило накопление значительной толщи мезозойско-кайнозойских пород, составивших основу для формирования четвертичных образований.

Четвертичные породы в пределах Подляско-Брестской впадины залегают на юрских, меловых, палеогеновых и неогеновых образованиях. Юрские породы, подстилающие четвертичные отложения не имеют широкого распространения. Они в пределах впадины отмечены у д. Тиховоля Свислочского района в основании Наревской ложбины ледникового выпахивания (тальвег – 85 м) и представлены мергелями, известняками оксфордского яруса верхнеюрской системы. На значительной площади впадины четвертичные отложения подстилаются породами верхнего отдела меловой системы. Характер поверхности и состав верхнемеловых пород оказали влияние на структурные условия формирования более молодых отложений, в том числе четвертичных. По данным [11] в пределах Подляско-Брестской впадины поверхность меловых отложений имеет закономерное понижение в западном–юго-западном направлении, что четко увязано с понижением поверхности фундамента в том же направлении. Характер поверхности кровли верхнемеловых отложений волнистый, часто осложненный эрозионными размывами, углублениями, возникшими при ледниковом выпахивании, а также углублениями связанными с карстовыми процессами.

В большинстве, в пределах территории распространения, отложения верхнего мела представлены карбонатной (мергельно-меловой) толщей и лишь в нижней части разреза (туронский ярус) незначительную часть его занимают терригенно-карбонатные отложения, представленные песчаным мелом, известковистыми песками и песчаниками [11]. Отложения туронского яруса не получили широкого распространения на территории впадины и встречаются спорадически на северо-западе в Наревской ложбине, на юге – у дд. Великорита, Гусак, на юго-востоке – у д. Радостово. Мощность их более 100 метров. Наибольшие площади в подстилающей поверхности четвертичных пород занимают отложения коньякского и сантонского ярусов. Эти отложения распространены в районе Дивинской ступени и вдоль Северо-Ратновского разлома, а также возле г. Бреста, южнее и западнее г. Пружаны и в Наревской ложбине. Мощность отложений коньякского яруса, состоящих в основном из чистого мела с включением кремнистых стяжений до 25 м. Мощность отложений сантонского яруса, представленных мелом и мелоподобными мергелями с кремнистыми стяжениями составляет 40–45 м. Верхнемеловые породы кампанского яруса подстилают четвертичные образования по линии от г. Высокое до д. Ставы Каменецкого района, д. Ставы – д. Клейники



Брестского района. Мощность отложений, представленных чистым мелом, местами с включениями темно-серых глин составляет 70–75 м.

Таким образом, породы верхнемелового возраста, составляющие субстрат четвертичных отложений в пределах впадины получили широкое распространение; относятся к различным стратиграфическим подразделениям; имеют за небольшим исключением однородный состав. Эти породы пластичны, податливы механическому воздействию. Они служили субстратом для мощных ледниковых тел, продвигавшихся в ледниковые периоды антропогена вглубь Подляско-Брестской впадины, в результате чего в ее пределах были сформированы линейные формы – ложбины. Тальвеги некоторых из них находятся в породах мелового возраста. Меловые отложения подвергались эрозионной деятельности палеогеновых, неогеновых, а в ряде случаев и четвертичных рек.

На верхнемеловых отложениях залегают морские палеогеновые породы среднего эоцена (киевская свита) и верхнего эоцена – нижнего олигоцена (харьковская свита). Отложения киевской свиты в пределах впадины имеют повсеместное распространение, лишь в районе г. Малориты они не обнаружены, это, возможно, связано с размывом и экзарацией их на неотектоническом этапе. Абсолютные отметки подошвы отложений киевской свиты от 10,0 м в скважине ВО-55 д. Збляны Зельвенского района до 99,5 м в скважине 41-П д. Карловичи Дрогичинского района. Отложения киевской свиты в пределах впадины представлены зеленовато-серыми, мелкозернистыми глауконитово-кварцевыми песками, бескарбонатными зеленовато-серыми алевритами, светло-серыми мергелями. Среднеэоценовый возраст отложений этой свиты, установлен калий-аргоновым методом по глаукониту и составляет 38,5–52,0 млн. лет [12]. Он подтверждается палеонтологическими данными изучения фораминифер [13], спор и пыльцы наземной растительности [14]. Палеогеновые породы киевской свиты подстилают четвертичные породы на юге Подляско-Брестской впадины – дд. Повитье, Леликово, Новоселки, Меленково Кобринского района, на юге Жабинковского района и южнее г. Бреста. На западе впадины доля этих пород снижается, они залегают в основании четвертичных отложений в виде узких, линейно вытянутых полос в направлении гг. Высокое – Каменец – Брест; г. Каменец – д. Линово – г. Пружаны – г.п. Шерешево – д. Тиховоля.

В позднем эоцене началось формирование отложений харьковской свиты, длившееся до середины олигоцена. Отложения харьковской свиты, представленные толщиной мелкозернистых глауконитово-кварцевых песков, местами глинистых, проработанных окислами и гидроокислами железа, иногда слабосцементированными глинисто-кремнистым цементом широко распространены в пределах впадины. Мощность отложений 15–20 м. Возраст отложений определен калий-аргоновым методом по измененному глаукониту из основания свиты составляет 37–38 млн. лет [12]. Верхнеэоценовый – нижнеолигоценовый возраст отложений свиты, установлен по данным спорово-пыльцевых исследований и изучению моллюсков [14]. Несмотря на широкое распространение отложений харьковской свиты в пределах впадины, в основании залегания четвертичных отложений они широкого распространения не получили. Наиболее крупный участок, где четвертичные отложения залегают на отложениях харьковской свиты, находится возле дд. Городец – Большой и Малый Рудец – Онисковичи – Стародубцы Кобринского района.

Отложения верхнего олигоцена формировались в восточной и северо-западной части впадины в прибрежно-морских и континентальных условиях. В верхнем олигоцене сформировались условия для развития карстовых процессов. Карстовые прояв-



ления связаны с подземным выщелачиванием карбонатной толщи мела, широко распространенной в пределах впадины. Образующиеся котловины и западины заполнялись песчано-алевритовым материалом, а в возникших заболоченных водоемах происходило накопление бурого угля. В разрезах скважин, пробуренных в районе г. Кобрин и г.п. Антополя в основании угленосных неогеновых отложений лежат зеленовато-серые, разнозернистые глауконитово-кварцевые пески с выветренным глауконитом с включением углистого материала. В большинстве изученных разрезов указанные породы подстилаются образованиями верхнего мела. Мощность подугленосной толщи составляет 12–14 м, изменяясь от двух до нескольких десятков метров. Максимальные мощности установлены в скважинах, которые пронизывают карстовые полости. На основании данных спорово-пыльцевого анализа вышеописанные отложения отнесены к верхнеолигоценым [15]. Верхнеолигоценые отложения подстилают четвертичные образования в центральной части Пружанского района.

Таким образом, нижнепалеогеновые образования, залегающие в основании четвертичных отложений, имеют достаточно широкое распространение во впадине, причем максимальные площади занимают морские среднеэоценовые (киевская свита) аккумуляции, а верхнеэоценовые – нижнеолигоценые и верхнеолигоценые отложения в основании четвертичных пород занимают небольшие участки в пределах впадины.

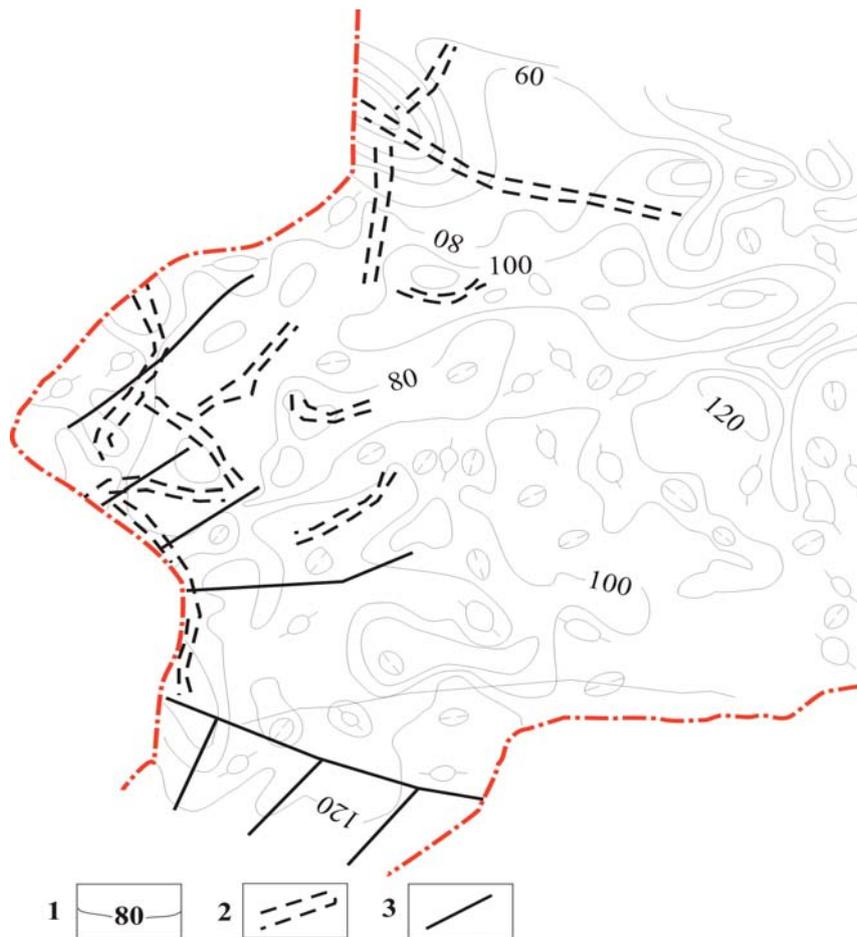
Континентальные неогеновые отложения широко распространены в пределах исследуемой территории. Они залегают на палеогеновых породах, часто с размывом. На основании изучения пород неогена с применением метода спорово-пыльцевого анализа в указанной толще были выделены отложения нижнего, среднего, верхнего миоцена и отложения нижнего и верхнего плиоцена, широко распространенных в пределах впадины. Отложения нижнего миоцена представлены образованиями аллювиальных, озерных и болотных фаций – серыми, темно-серыми, мелко, разнозернистыми кварцевыми песками с примесью углистого материала и небольшими по мощности прослоями бурого угля. Отложения среднего миоцена представлены бурыми углями, углистыми темно-серыми мелкозернистыми, реже крупнозернистыми кварцевыми песками. В отложениях верхнего миоцена преобладают пестроцветные, преимущественно монтмориллонитовые глины и кварцевые пески (антопольская свита). Отложения нижнего и верхнего плиоцена представлены зеленовато-серыми алевритами и незначительной мощности светло-серых мергелей (соколовская свита), светло-серыми алевритами и песками (грушевская свита) которые завершают разрез неогеновых отложений в пределах исследуемой территории. Мощность неогеновых отложений в пределах впадины составляет около 36 м.

Проблема происхождения рельефа поверхности ложа четвертичных отложений до настоящего времени однозначно не решена. По этому вопросу у исследователей существуют различные представления. Согласно одних, ведущее место в процессах формирования уровня поверхности дочетвертичных пород играли тектонические факторы. Другие отдают предпочтение процессам длительной денудации, третьи – совместным влиянием вышеперечисленных факторов, четвертые отмечают определяющую роль тектонической предопределенности общего рисунка каждой конкретной поверхности и ее вторичной моделировки экзарационными процессами, не приводящих к коренной перестройке рельефа. По представлению авторов в происхождении крупных и средних форм «повинны» структурно-денудационные факторы. В заложении этих форм важную роль сыграли тектонические процессы, а в скульптурном выделении определяющую роль сыграли эрозионные, экзарационные процессы и литологические



особенности пород, составляющих субстрат для четвертичных аккумуляций, которые являются материалом для формирования современного рельефа в пределах территории Подляско-Брестской впадины.

Характер распределения морфоизогипс дает представление об общих чертах устройства поверхности, существовавшей до воздействия на нее первых покровных оледенений. Поверхность коренных пород до экспансии покровных ледников имела уклон на север и северо-запад. Поверхность имеет четко выраженную трехуровневую высотную ступенчатость, подчеркиваемую характером проведенных морфоизогипс в 60,0 м, 60,0–100,0 м и более 100,0 м. Сопоставление морфоизогипс с изогипсами коренного рельефа (рисунок 2) свидетельствует, что современный облик поверхности ложа четвертичных аккумуляций сохранил в основном черты неогеновой поверхности, претерпев некоторые изменения в северной и западной частях впадины. В северной части снизились абсолютные отметки, произошло расчленение поверхности глубокими ложбинообразными понижениями. В западной части впадины, проявившиеся процессы экзарации и эрозии способствовали более яркому проявлению как положительных, так и отрицательных форм. Среди таких форм выделялись многочисленные ложбины и котловины, выстани, небольшие изометричные углубления карстового генезиса.



1 – изогипсы; 2 – ледниковые ложбины; 3 – платформенные разломы

Рисунок 2 – Рельеф поверхности ложа четвертичных отложений территории Подляско-Брестской впадины (по А.В. Матвееву и др. [16])



Тектонический агент проявился в предопределенном расположении линейных переуглублений и повлиял на обособление высотной ступени в пределах южной части впадины. В литологическом отношении обнажающиеся на субчетвертичной поверхности горные породы являлись субстратом для мощных ледовых масс, продвигавшихся в пределы впадины в ледниковые эпохи антропогена, в результате чего поверхность претерпела существенную переработку, получив гляциогенный облик, который не соответствует дочетвертичному.

Таким образом, на основании вышеизложенного, можно заключить, что расчленённую кровлю дочетвертичных пород в пределах Подляско-Брестской впадины образуют неогеновые, палеогеновые, меловые отложения и совсем незначительные площади в основании антропогенных отложений занимают образования верхнеюрского возраста.

Меловые образования, подстилающие четвертичные отложения, распространены в южной части впадины. Кровля меловых отложений образует равнинную поверхность, которая осложняется карстовыми понижениями, а также глубокими линейно вытянутыми врезами в северной и западной частях впадины. Палеогеновые отложения, подстилающие четвертичные образования находятся на юге впадины и в виде узких, линейно вытянутых полос распространены в центральной части впадины. Наибольшие площади в субчетвертичной поверхности занимают неогеновые отложения.

Разновозрастные горные породы, составляющие субчетвертичную поверхность, являются пластичными и податливыми механическому воздействию. Особенно это относится к мергельно-меловой толще пород верхнемелового возраста. В формировании рельефа поверхности ложа четвертичных отложений впадины принимали тектонические, эрозионные, экзарационные процессы и литологические особенности дочетвертичных пород. Поверхность ложа четвертичных отложений в пределах впадины имеет прямую связь с рельефом поверхности кристаллического фундамента. Особенно четко это проявляется в осевой части впадины и в пределах Высоковского блока и Дивинской ступени.

На территории Подляско-Брестской впадины по преобладающему гипсометрическому уровню поверхности возможно выделить крупные формы рельефа. Л.А. Нечипоренко [17] при оконтуривании крупных форм поверхности коренных пород Беларуси за основу принимала изогипсы 60,0 и 100,0 м. Низины выделялись ниже 60,0 метровой изогипсы, равнины – на высоте 60,0–100,0 м, плато – выше 100,0 м над уровнем моря. По ее мнению, именно на этих отметках происходят значительные изменения в устройстве дочетвертичной поверхности. Базируясь на этом представлении можно выделить следующие крупные формы поверхности – Беловежскую погребенную низину, Прибугско-Ясельдинскую погребенную равнину и Дивинское погребенное плато.

Погребенная Беловежская низина расположена в северной части впадины. Беловежская погребенная низина является территорией, для которой характерны наиболее низкие отметки коренного рельефа. Расчлененность поверхности ложа четвертичных образований этого района выражается в резком колебании абсолютных отметок его поверхности. Минимальные отметки составляют минус 92,0 м у д. Доброволя Свислочского района, максимальные отметки погребенной поверхности достигали 82,0 м и находятся у дд. Корнадь, Кукличи этого же района. Амплитуда высот этой поверхности в 2,07 раза больше современного рельефа (242,0 и 158,0 м).

В кровле коренных пород палеорайона выделяются небольшие останцы слабо преобразованных участков коренного рельефа и формы гляциогенного экзарационно-эрозионного рельефа. Последние формы являются доминирующими в рельефе погребенной



бенной паверхнасці нізіны. Останцовы рэльеф праяўляецца ў восточнай частцы раёна ў выглядзе невялікіх па плошчы платообразных участкаў. Гляцыённы экзарационно-эрозионны рэльеф ложа чвэрцічных адкладаў прадставіў лажбінамі ледніковага выпахавання і размыва ў выглядзе лінейных перауглубленняў субшыротнага, рэжэ субмеридиональнага напраўленняў і замкнутых паніжэнняў ў форме котловін. Сярод лінейна выцягнутых форм пагребеннага рэльефа чётка выдзяляюцца продольныя (радыяльныя) і паперечныя (маргінальныя) ледніковыя лажбіны. Тыпічным прымерам продольнай лажбіны палеорэльефа Беловежскай пагребеннай нізіны з'яўляецца Нарэўская ледніковая лажбіна размыва, для якой характэрна субшыротнае прасціранне, V-образны паперечны профіль і вялікая глыбіня врэза, дзе вскрываюцца пароды верхнеюрскага ўзроста. У сучасным рэльефе яна наследуецца долинай р. Нарэў. Ко другой групе экзарационно-эрозионных форм адносіцца Добровольская лажбіна, тальвег якой знаходзіцца на адметке мінус 92,0 м. У генетычным адношэнні яна прыналежыць да лажбін ледніковага выпахавання і выдаўлівання.

Пагребенная Прыбугско-Ясельдінская раўніна займае большую частку тэрыторыі Подляско-Брэстскай впадыны, абмежаваная 60,0 і 100,0-метровымі ізогіпсамі. Яна характэрна рознай ступенню расчлененым рэльефам, сярод якога выдзяляюцца два тыпы макраформ: ізаметрычныя і лінейна выцягнутыя. Да ізаметрычных форм адносяцца выстаны, лакальныя падняцці і паніжэння, да лінейна выцягнутым формам адносяцца арыентаваныя перауглублення – продольныя і паперечныя лажбіны. Рэльеф паверхнасці ложа чвэрцічных адкладаў пагребеннай раўніны мае мозаічнае ўладарства. Здары выдзяляюцца участкі слаба затронутыя гляцыённай перапрацаўкай, выступаючыя ў выглядзе лакальных падняцці і депрэсій розных размяроў. Лакальныя падняцці, аконтуреныя замкнутымі ізогіпсамі 80,0–100,0 м, знаходзяцца, ў асноўным, ў заападнай частцы пагребеннай раўніны.

Таковыя участкі абраўваюць Высоковскае падняццё амплітудой 40,0–45,0 м ў раёне дд. Волчын – Макарава – Токары, Казіміраўскае падняццё амплітудой 35,0 м ў раёне дд. Бушмічы – Казімірава – Омеленец, Дашевічскае падняццё амплітудой 40,0 м, ў раёне дд. Подомша – Дашевічы – Маковічы, Прыозерскае падняццё амплітудой 25,0–30,0 м ў раёне дд. Подбродзяны – п. Прыозерскі – Щэрбава, Каменецакское падняццё амплітудой 25,0–30,0 м, Бродскае падняццё амплітудой 25,0 м ў раёне дд. Щэрбы – Броды – Тарасы і Хвойніцкае падняццё амплітудой 25,0–30,0 м. Данныя участкі можна аднесці да выстаням. Выстаны – прыподнятыя формы рэльефа дуплейстоцэнавай паверхнасці, якая слаба праебраўвана леднікамі. У морфалагічным плане яны прадставіаюць гарызантальныя ці з невялікім нахлэнам да заападу выровненыя паверхнасці, маючы аднаковую даўжыню і шырыню ад 10,0 да 25,0 км. Лакальныя падняцці, аконтуреныя ізогіпсой 80,0–90,0 м займаюць невялікія па плошчы участкі і распаўсюджаны ў восточнай частцы пагребеннай раўніны. Лакальныя паніжэння ў паверхнасці пагребеннай раўніны, аконтуреныя ізогіпсой 50,0 м, абраўваюць карставыя впадыны невялікіх размяроў.

Паверхнасць падошвы чвэрцічных адкладаў ў межах Прыбугско-Ясельдінскай пагребеннай раўніны ізрэзана лінейна арыентаванымі глыбокімі V-образнымі лажбінамі, якія вскрываюць мезозойскія (меловыя) пароды, ў тое часе як праебладаючыя распаўсюджаныя маюць палеагенавыя і неагенавыя аккумуляцыі. Асабліва складана ўладарана ложе чвэрцічных адкладаў на заападе Прыбугско-Ясельдінскай пагребеннай раўніны – ў Брэстскім, Жабынкіўскім і Каменецакскім раёнах. У д. Паграынічная Каменецакскога раёна бярэе пачала адна з самых працягнутых



меридиональных ложбин ледникового выпахивания. На абсолютной отметке плюс 27,0 м у д. Пограничная днище Пульвянской ложбины вскрывает отложения мелового возраста. Далее ложбина прослеживается у д. Оберовщина, проходит западнее г. Высокое, подходит к д. Колодно и замыкается у д. Гремяча. Ширина ее составляет 0,8–1,5 км, глубина вреза достигает 80,0 м. В современном рельефе эта ложбина наследуется долиной р. Пульва.

У дд. Ставы – Рудовец Каменецкого, Вельямовичи – Сычи Брестского районов четко прослеживается субширотная ледниковая ложбина котловинного типа, шириной 4,0–5,0 км. В этом месте углубление врезано в меловые породы до уровня минус 35,0 м. Далее эта ложбина становится намного уже и четко прослеживается в юго-восточном направлении и заканчивается северо-западнее Бреста. В современном рельефе это переуглубление наследуют приустьевой участк русла Мотыкальского канала и значительный участок долины р. Зап. Буг.

На севере из территории Беловежской погребенной низины в пределы Прибугско-Ясельдинской равнины простирается меридиональная ложбина от д. Тиховоля до д. Ясень. Днище этой ложбины у д. Тиховоля находится на отметке минус 80,0 м, а у д. Ясень – плюс 50,0 м.

Северо-восточнее г. Каменца выделяется Леснянская ложбина ледникового размыва времени березинского оледенения [18]. У Каменца днище ложбины имеет V-образную форму, вскрывает глинистые породы палеогенового возраста на отметке плюс 25,0 м; в районе д. Свищево ложбина расширяется до 4,0 км. Тальвег ложбины находится на абсолютной отметке минус 10,0 м. В современном рельефе эта ложбина наследуется участком долины р. Лесной.

Западнее этой древней формы расположена ложбина котловинного типа, простирающаяся от д. Гурины в направлении дд. Речица – Чемери-II – Чемери-I – Угляны. Тальвег ложбины находится на абсолютной отметке плюс 15,0 м. Древняя форма наследуется участком долины р. Леснойлевой.

В Жабинковском районе у д. Петровичи начинается Мухавецкая ледниковая ложбина выпахивания и размыва. Далее она простирается в направлении дд. Ракитница – Бульково – Щебрин. Глубина вреза составляет 40,0 м, тальвег находится на отметке плюс 35,0 м, ширина составляет 1,0–1,2 км. Ложбину наследует участок долины р. Мухавец.

У г. Высокое находится узел расхождения нескольких линейных переуглублений. Одно из них охарактеризовано было выше. Второе линейное переуглубление от г. Высокое простирается в юго-восточном направлении к дд. Малые Зводы – Морозовичи – Остромечево – Чернавчицы – Няневичи Брестского района. Ложбина имеет V-образный поперечный профиль, резкий перепад высот в продольном профиле, особенно на участке Остромечево – Кошилово – Покры. Днище этой формы находится на отметках плюс 25,0–40,0 м. В современном рельефе ложбина наследуется р. Лютая и участками долины р. Лесная.

Абсолютные отметки поверхности погребенной Прибугско-Ясельдинской равнины варьируют от минус 35,0 м до 125,0 м, из чего следует, что перепады высот по кровле коренных пород более чем на 70,0 м превышают амплитуду современного рельефа (121,0 м в долине Зап. Буга, 202,0 м у д. Вискули Пружанского района).

Погребенное Дивинское плато расположено вдоль южной границы впадины и, в основном, совпадает с простираем Дивинского разлома на севере и Северо-Ратновского разлома на юге. Территория Дивинского погребенного плато в пределах впадины ограничена изогипсой 110,0–130,0 м. В этих пределах четвертичные отложе-



ния подстилаются меловыми и палеогеновыми породами. Характер поверхности в основном ровный, высоты составляют 110,0–120,0 м и лишь в отдельных местах, у дд. Ляховцы, Добросово, Полики Малоритского и д. Леликово Кобринского районов достигают 131,0–136,0 м. Рельеф поверхности плато характеризуется небольшим расчленением. На поверхности плато выделяются изометричные понижения в виде небольших западин, приуроченных к Дивинскому и Северо-Ратновскому разломам, которые, в целом, не нарушают платообразный характер поверхности. Наиболее крупные изометричные углубления в поверхности коренных пород выделяются у дд. Черняны, Великорита Малоритского и у д. Дивин Кобринского районов. Данные формы связаны с наличием карстующихся пород мелового возраста. Юго-западнее Великориты в поверхности ложа отмечается переуглубление бобовидной формы с абсолютной отметкой днища плюс 45,5 м. Судя по равномерному ступенчатому очертанию изогипс изображающую данную форму, можно заключить, что она имеет карстовое происхождение, а не гляцигенно-эрозионно-экзарационный генезис, как отмечает Л.А. Нечипоренко [17].

Таким образом, проведенные исследования дали возможность установить определенные закономерности в устройстве поверхности ложа четвертичных отложений, являющихся рельефообразующей толщей в пределах исследуемой территории:

- определить влияние структур кристаллического фундамента на рельеф коренных пород;

- установить, что поверхность ложа коренных пород отчетливо подразделяется на три уровня – низкий, в северной части (ниже 60,0 м), более высокий в центральной части (более 60,0 и до 100,0 м), возвышенный (более 130,0 м) в южной части впадины;

- установить, что абсолютные отметки рельефа поверхности коренных пород в пределах территории впадины возрастают в направлении с севера на юг и на этом фоне выделяется серия переуглублений в виде ледниковых ложбин, соединенных в цепи, простирающихся на большие расстояния с большой глубиной вреза, приуроченных в основном к зонам разломов (Свислочский, Высоковский, Прибугский, Кустинский, Жабинковский);

- установить, что формы мезо- и микрорельефа имеют разнообразный генезис: ложбины и котловины возникли в результате ледникового размыва, выпахивания и выдавливания, реже – сохранились в реликтовом виде речных долин с неогенового времени, изометричные углубления в восточной и южной частях впадины имеют карстовое происхождение, а выстани в западной части поверхности коренных пород – результат слабого проявления экзарационных процессов;

- установить, что перепады высот по кровле коренных пород более чем на 100,0 м превышают амплитуду современного рельефа на территории Подляско-Брестской впадины.

Характер поверхности фундамента, петрографический, механический состав до-четвертичных пород, структура рельефа ложа четвертичных образований, способствовали формированию в пределах Подляско-Брестской впадины четвертичных отложений сплошным чехлом различной мощности покрывающих образования более древних геологических эпох. Мощность четвертичных отложений на исследуемой территории составляет от 15 до 240 м. Распределение мощности четвертичных отложений в пределах впадины, их генезис и строение тесно связаны с особенностями погребённого рельефа поверхности коренных пород.

Максимальные толщи отмечаются в северо-западной части впадины, где они достигают 140–230 и более метров. В пределах впадины выделяется три полосы разной



мощности четвертичных отложений. Они простираются в субширотном направлении и ограничиваются изопахитами в 90 и 40 м. Севернее изопахиты в 90 м выделяется полоса с мощностью четвертичных пород от 90 до 130 и более метров. Максимальные мощности четвертичных отложений отмечены у д. Тиховоля – 232 м. В центральной (осевой) части впадины (вторая полоса) мощность четвертичных отложений неодинакова на западе и на востоке. На западе, где в ложе четвертичных пород выделяют ложбинообразные переуглубления, мощность пород четвертичного периода варьирует от 90 до 110 м, а в некоторых местах – г. Высокое – мощность отложений достигает 168 м, у д. Вельямовичи Брестского района – 175 м. В местах, слабо затронутых экзарационной деятельностью, мощность отложений выдержана по простиранию и составляет в среднем 70–80 м, в пределах выстаней занимая площади в 5–8 км². На востоке впадины, в этой полосе мощность четвертичных образований составляет от 40 до 80 м. На юге впадины в полосе, ограниченной с севера изопахитой в 40 м, мощность четвертичных отложений минимальная и составляет 20–30 м, а в некоторых местах и меньше – 10 м. В этой же полосе в местах распространения небольших изометричных переуглублений мощность четвертичных образований возрастает до 60 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, Б.В. Основные черты тектонического строения Брестской впадины / Б.В. Бондаренко, Ж.В. Хотько // Тр. ИГН АН БССР. – 1961. – С. 4–7.
2. Тектоника Белоруссии / под ред. Р.Г. Гарецкого. – Мн. – 1976. – С. 117–126.
3. Pozàryski, W. Poludniwo–zachodnia krawędź Fenno–Sarmacji / W. Pozàryski // Kwart Geol. – 1957. – Nr. 3-4. – S. 386.
4. Pozàryski, W. Jednostki geologiczne Polski / W. Pozàryski // Przel. Geol. – 1963 – № 1. – S. 5.
5. Синичка, А.М. Кустинская опорная скважина Брестской впадины / А.М. Синичка. – М. – 1970. – С. 10.
6. Зиновенко, Г.В. Подляско-Брестская впадина: строение, история развития и полезные ископаемые / Г.В. Зиновенко, Р.Г. Гарецкий. – Мн.: Белорусская наука, 2009. – 142 с.
7. Пап, А.М. Основные черты геологического строения кристаллического фундамента Белоруссии / А.М. Пап // Проблемы региональной геологии Прибалтики и Белоруссии. – Рига. – 1973. – С. 35–49.
8. Пап, А.М. Кристаллический фундамент Белоруссии / А.М. Пап. – Мн. – 1977. – С. 25.
9. Пап, А.М. Магматические формации кристаллического фундамента Беларуси / А.М. Пап // Метаморфизм и метасоматизм в формировании пород и руд докембрия Беларуси. – Мн. – 1999. – С. 114.
10. Горелик, З.А. Основные тектонической структуры БССР и их влияние на формирование современного рельефа / З.А. Горелик // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1959. – № 8. – С. 23.
11. Акимец, В.С. Меловая система / В.С. Акимец // Геология СССР. Т. III. Белорусская ССР. Геологическое описание. – М. – 1971. – С. 189–191.
12. Мурашко, Л.И. Изотопный возраст глауконитово-кварцевых пород палеогена Беларуси / Л.И. Мурашко // Літасфера. – 1994. – № 1. – С. 183–184.



13. Фурсенко, А.В. Фораминиферы верхнего эоцена Белоруссии и их стратиграфическое значение / А.В. Фурсенко, К.Б. Фурсенко // Палеонтология и стратиграфия БССР. – Мн. – 1961. – С. 246.

14. Бурлак, А.Ф. Новые литологические данные к стратиграфии и корреляции палеогеновых отложений запада СССР / А.Ф. Бурлак // Флора и фауна кайнозоя Беларуси. – Мн. – 1992. – С. 105–107.

15. Бурлак, А.Ф. Палинологическая характеристика угленосных неогеновых отложений Белоруссии и её стратиграфическое и палеонтологическое значение : Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. – Вильнюс. – 1973. – С. 7.

16. Рельеф Белорусского Полесья / А.В. Матвеев [и др.]. – Мн. : Наука и техника, 1982. – 131 с.

17. Нечипоренко, Л.А. Условия залегания и тектоническая предопределенность антропогенного покрова Белоруссии / Л.А. Нечипоренко. – Мн. : Наука и техника, 1989. – 114 с.

18. Гурский, Б.Н. Нижний и средний антропоген Белоруссии / Б.Н. Гурский. – Мн. : Наука и техника, 1974. – 144 с.

N.F. Grechanik, M.A. Bogdasarov. The Geological Structure of Pre-Quaternary Deposits of the Territory of Podlessko-Brest Depression

The article touches upon the questions of the peculiarities of the tectonic structure and geological structure of the pre-Quaternary deposits on the territory of Podlyasko-Brest depression. It gives the characteristics of the crystalline base and structural complexes of the platform cover, considers the questions of the depression's broken tectonics and describes the breakings and local tectonic structures.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 27.10.2011 г.



УДК 551.482 (476)

Е.Г. Кольмакова, О.И. Маслова, С.В. Гриб

БИОГЕННЫЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АГРОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ВОДОСБОРОВ

Изложены результаты оценки выноса биогенных веществ речным стоком в бассейне Западной Двины на территории Беларуси. Выполнен анализ миграции биогенных веществ по длине магистральной реки. Впервые представлены картографические модели выноса азота аммонийного, азота нитратного, фосфора общего с площади водосборов рек бассейна Западной Двины. Показана зависимость удельного выноса биогенных веществ речным стоком от уровня сельскохозяйственной нагрузки на водосборе.

Введение

Сток растворенных веществ рек представляет собой интегральную характеристику процессов формирования химического состава поверхностных вод. В естественных условиях он определяется интенсивностью физико-химических и биологических процессов, активно протекающих в зоне контакта водной массы и коры выветривания; в условиях техногенеза его фоновые значения претерпевают значительные изменения.

Дополнительное привнесение человеком в агроландшафты биогенных компонентов способствует усилению выноса азота и в меньшей степени фосфора с поверхностной и подземной составляющей стока. Поверхностный смыв с сельскохозяйственных угодий – сезонный источник нагрузки, действующий преимущественно в вегетационный период (на весенний период приходится 60–70 % годового выноса биогенных веществ, на осень – 6–15 %) [1]. Осушительная мелиорация также вызывает усиление химической денудации, что приводит к усилению поступления в речную сеть продуктов агротехногенеза. Биогенные элементы привносятся также со стоками животноводства. В итоге величина биогенного стока рек выступает одним из показателей агрохозяйственного освоения водосбора.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объекта исследования нами рассмотрены водотоки бассейна Западной Двины, значительная часть водного и химического стока которых формируется на территории Беларуси в условиях доминирования агрохозяйственного освоения водосбора. В качестве расчетных использованы створы, обеспеченные достаточной гидрохимической и гидрологической информацией, химический состав вод которых отражает ландшафтно-геохимические особенности дренируемых ими водосборов: р. Западная Двина – пгт Сураж, р. Западная Двина – г. Витебск, р. Западная Двина – г. Полоцк, р. Западная Двина – г. Новополоцк, р. Западная Двина – г. Верхнедвинск, р. Улла – г. Чашники, р. Оболь – пгт. Оболь, р. Полота – г. Полоцк, р. Дисна – пгт. Шарковщина.

Оценка валового выноса биогенных веществ осуществлена с использованием среднегодовых концентраций химических веществ по данным ГУ «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды» и среднегодовых расходов воды по данным ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр» за 2001–2005 гг. по общепринятой методике [2]. В качестве биогенных показателей рассмотрены азот нитратный, азот аммонийный, фосфор общий.

Следует отметить, что в гидрохимической практике при оценке выноса химических веществ речным стоком учитывают вклад части бассейна, не охваченной режимны-



ми наблюдениями [3]. Химический сток рек, как известно, в пределах одного бассейна в сходных физико-географических условиях, в значительной мере определяется величиной самой водосборной территории. В связи с этим, при отсутствии ниже расчетного створа крупных источников загрязнения, водная составляющая для приведения величины химического стока от расчетного створа к устью откорректирована путем введения поправочного коэффициента в соответствии с неучтенной водосборной площадью.

Наиболее удобной формой представления результатов расчетов стока растворенных веществ рек выступает не валовой вынос химических веществ, а величина выноса с единицы площади. Модуль стока является универсальной характеристикой, которая выступает в качестве меры интенсивности антропогенного воздействия на водосборе.

При оценке выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий следует иметь в виду, что основная их часть поступает в составе склонового стока с площадей, непосредственно примыкающих к руслам водотоков, что связано с тяготением сельскохозяйственного производства и поселений к речным долинам. Поскольку поверхностный сток с сельскохозяйственных земель не контролируется, он рассматривался нами как диффузный источник загрязнения, а животноводческие комплексы, воды которых частично подвергаются очистке, – в качестве точечных.

Использование удобрений на полях и их смыв, наряду со сбросом нормативно-чистых вод ЖКХ, приводят к постепенной смене естественного гидрохимического фона в пределах гидрокарбонатно-кальциевого класса вод [4]. Для оценки изменений и факторов динамики биогенного выноса помимо водности рек, концентрации химических веществ, распаханности территорий привлекались данные о количестве вносимых удобрений, размерах поголовья скота и птицы в пересчете на кормовые единицы, плотности сельских жителей, доле осушенных земель. Данные о внесении минеральных удобрений и плотности условных голов скота переведены в удельные единицы в расчете на 1 км² площади водосбора, а плотность сельского населения рассчитана на 1 км² пашни в пределах водосбора.

В целом, значение природного регионального фона выноса азота общими реками Беларуси составляет $1,55 \times 10^{-3}$ кг/м³, в том числе азота аммонийного – $0,46 \times 10^{-3}$, азота нитратного $1,09 \times 10^{-3}$ кг/ м³ [5]. Усредненные показатели удельного выноса биогенных веществ притоками Западной Двины по результатам выполненной нами оценки за 2001–2005 гг. отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Среднегодовой удельный вынос биогенных веществ притоками Западной Двины с площади водосборов (2001–2005 гг.), кг/км²

Реки	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P _{общ}	$\frac{N_{\text{общ}}}{P_{\text{общ}}}$	$\frac{NO_3^-}{NH_4^+}$
Витьба	84,4	61,1	20,3	7,17:1	0,7:1
Ушача	128,8	88,6	17,7	12,28:1	1,5:1
Дрисса	131,1	82,6	17,5	12,21:1	1,6:1
Улла	47,7	55,0	19,1	5,38:1	0,9:1
Оболь	80,6	102,9	20,5	8,95:1	0,8:1
Дисна	93,6	70,3	14,6	11,23:1	1,3:1
Полота	162,9	84,3	23,4	10,56:1	1,9:1

Анализ динамики удельного выноса биогенных веществ реками бассейна Западной Двины позволил выявить следующие закономерности. В верхнем течении Запад-



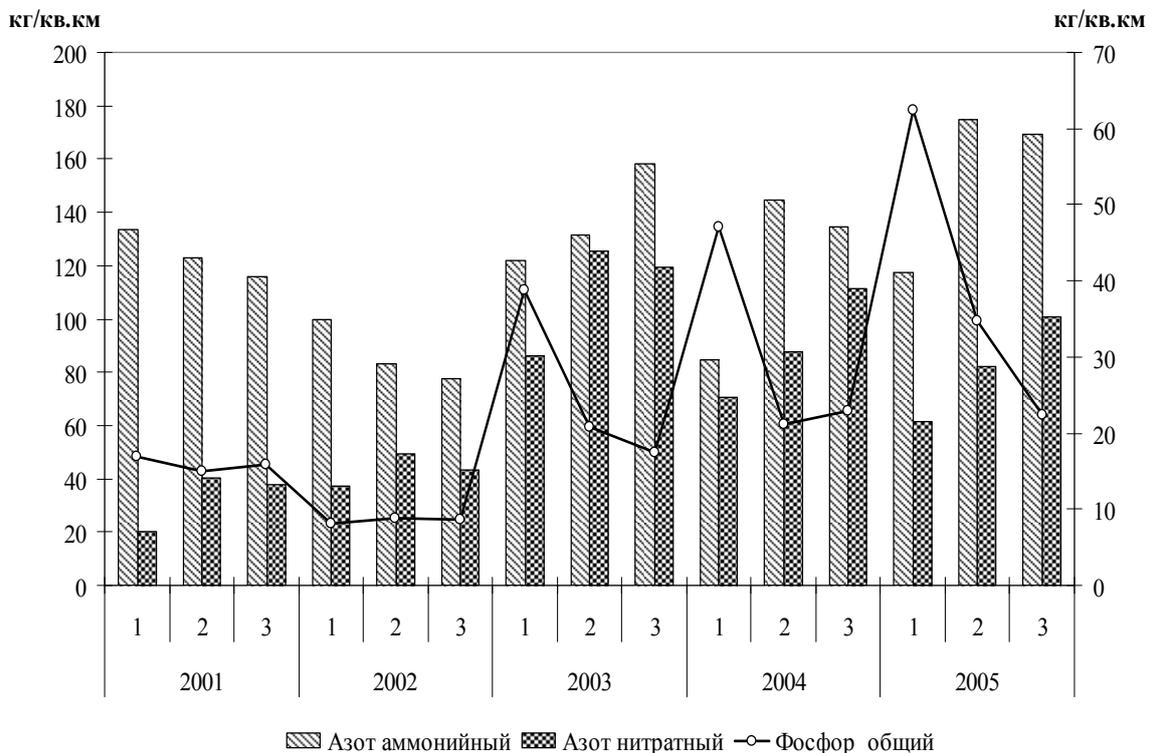
ной Двины (в створе выше г. Витебск), а также на притоках Улла и Оболь, наблюдалось снижение выноса биогенов речным стоком с трендом к его стабилизации. Ниже по течению (в створах г. Полоцк и г. Верхнедвинск) зафиксировано снижение выноса биогенов к 2003 году, с последующей тенденцией к увеличению.

Повышенный вынос азота аммонийного речным стоком в большинстве створов пришелся на 2001 год. Максимальный вынос азота аммонийного зарегистрирован в 2004 году в створе р. Полота – г. Полоцк (214,2 кг/км²), минимальный – в 2001 году (119,9 кг/км²).

В динамике выноса азота нитратного речным стоком выявлен рост с 2001 по 2003 гг. с последующим снижением. Так, в створе ниже г. Полоцк после поступления максимального количества азота нитратного в 2003 году (133,7 кг/км²), в последующие годы наблюдалось снижение показателей до 73,7 кг/км².

Минимальный сток фосфора общего зарегистрирован в большинстве створов в 2002 году. Например, в створе ниже г. Витебска в 2002 году годовое значение выноса опускается до отметки 6,2 кг/км². Максимальное значение зарегистрировано в 2003 году – 38,8 кг/км².

Анализ миграции химических веществ по длине магистральной реки Западная Двина позволил выявить некоторые закономерности формирования стока биогенных веществ на отдельных участках речного бассейна (рисунок 1).



Створы: 1 – р. Зап. Двина, пгт. Сураж, 2 – р. Зап. Двина, г. Полоцк,
3 – р. Зап. Двина, г. Верхнедвинск

Рисунок 1 – Динамика удельного выноса биогенных веществ магистральной рекой Западная Двина за 2001–2005 гг.



В 2001–2002 гг. привнос азота аммонийного с российской части водосбора превосходил показатели сложившегося регионального фона, в то время как в 2003–2005 гг. вынос азота аммонийного неизменно возрастал вниз по течению. Сток азота нитратного на протяжении рассматриваемого периода постепенно увеличивается вниз по течению за счет точечных источников загрязнения, расположенных в непосредственной близости от магистральной реки, и дополнительного поступления с площадным смывом с сельскохозяйственных угодий боковых притоков. Несколько иная ситуация сложилась с фосфором, максимальный вынос которого с водным стоком неизменно фиксируется именно на пограничной с РФ территории, ниже по течению модуль стока фосфора сохраняется стабильным либо неуклонно снижается [6].

С целью оценки пространственной структуры впервые для рек бассейна Западной Двины в пределах белорусской части водосбора созданы картографические модели выноса биогенных веществ речным стоком посредством ArcGIS (рисунки 2–4). При этом совокупность значений дифференцировалась на отдельные классы по методу равных интервалов, как это принято в гидрохимической практике [7].

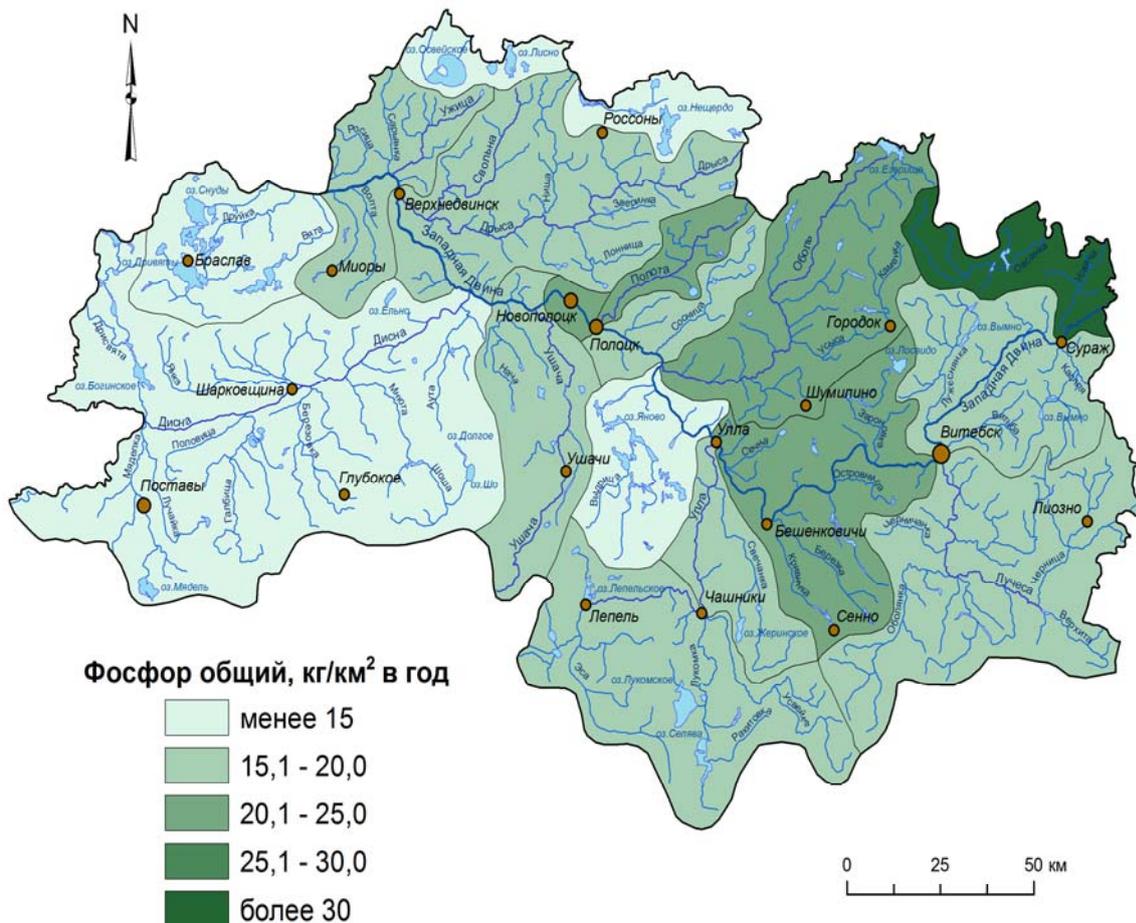


Рисунок 2 – Модуль стока фосфора общего с водосбора р. Западная Двина

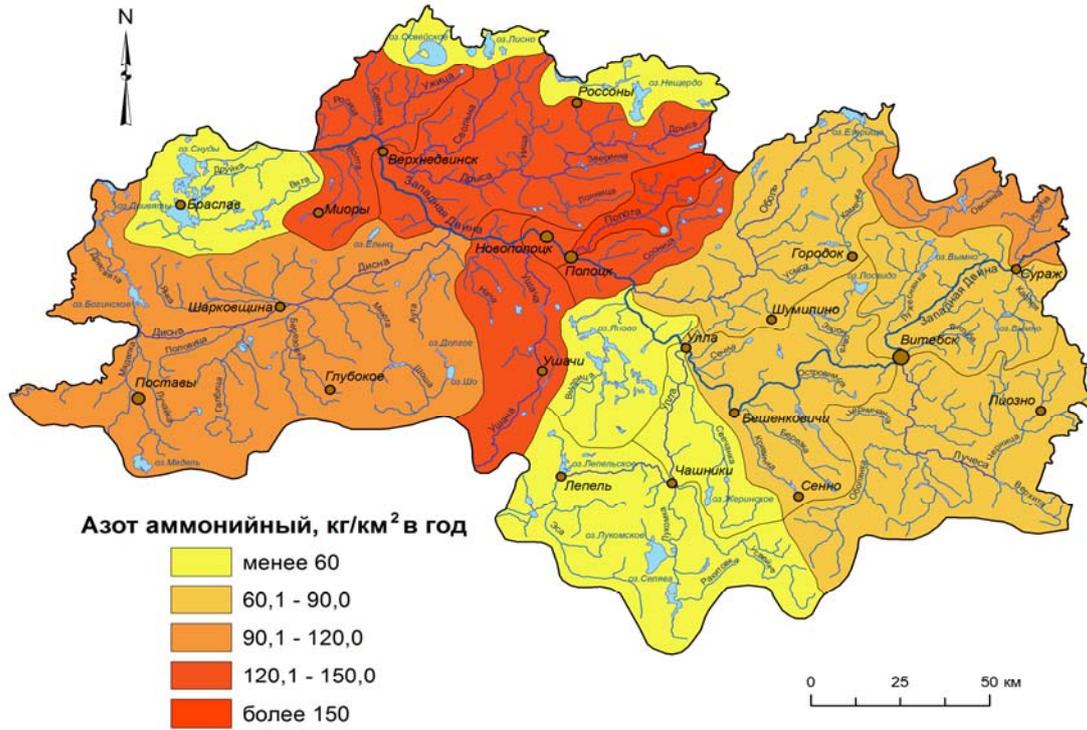


Рисунок 3 – Модуль стока азота аммонийного с водосбора р. Западная Двина

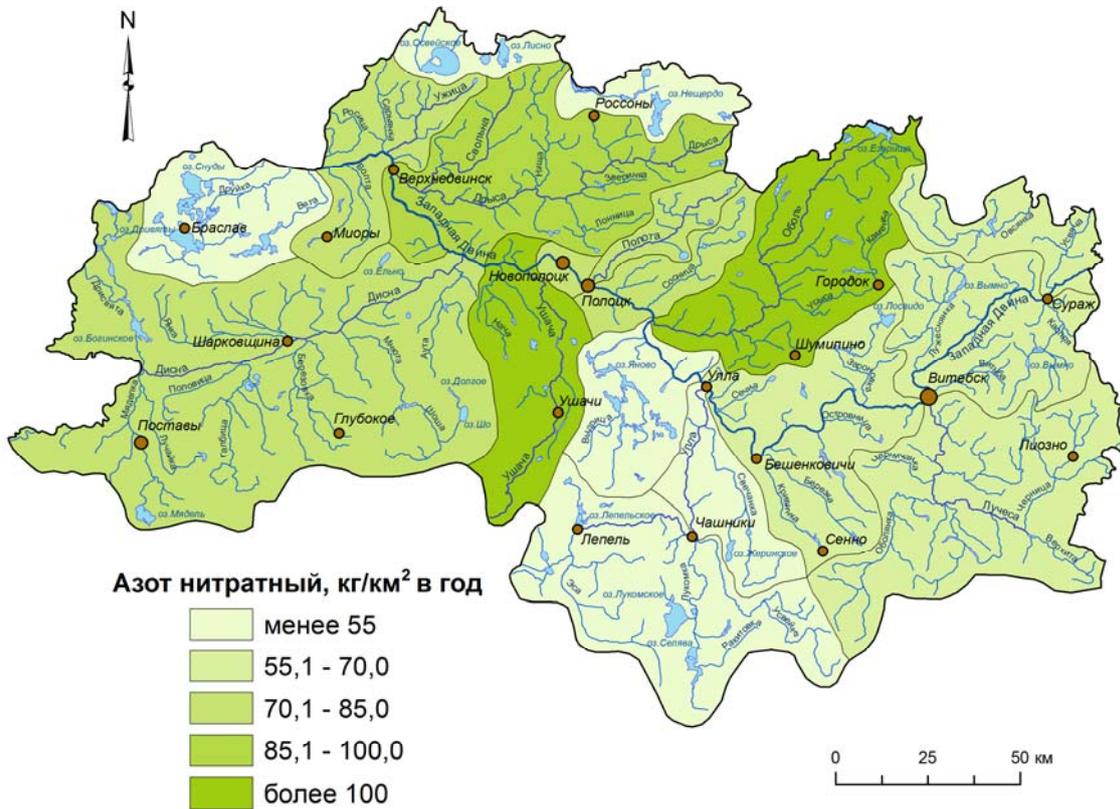


Рисунок 4 – Модуль стока азота нитратного с водосбора р. Западная Двина



Как показано на рисунке 2, наибольший среднегодовой вынос фосфора общего речным стоком осуществляется с водосбора р. Западная двина на участках выше г. Суража и ниже г. Витебска, рр. Полоты и оболи, наименьший – с водосборов озер ушачской и браславской групп.

Повышенным стоком азота аммонийного характеризуется р. Полота, а также участок магистральной реки западная двина ниже г. Полоцк до замыкающего створа; пониженным стоком – р. Улла и указанные озерные группы (см. Рисунок 3).

«лидерами» по выносу азота нитратного на современном этапе являются водотоки оболы и западная двина на участке ниже г. Полоцк, наименьшими показателями характеризуются рр. Улла, западная двина выше г. Витебск и озерные группы (см. Рисунок 4). Одной из причин их относительной чистоты является залесенность водосборов. Водотоки, протекая через лесные массивы, питаются относительно более чистыми грунтовыми водами, что способствует поддержанию естественного биогенного гидрохимического фона. Поэтому в реках лесных водосборов содержание нитратов колеблется в пределах 0,001–0,003 кг/м³, а в сельскохозяйственных водосборах весной – в 10–20 раз больше (0,015–0,020 кг/м³) [5].

Направление и интенсивность агрохозяйственного использования водосбора в значительной мере определяет состав выносимых речным стоком биогенных элементов. Это нашло отражение в нарушении отношения удельного выноса азота к фосфору, в качестве нормы которого условно принимается 5 : 1, что типично для р. Улла (см. таблица 1). Отклонение от нормального соотношения компонентов биогенного стока зафиксировано для рр. Витьба, Оболь (от 7 : 1 до 10 : 1), самое значительное – для рр. Ушача, Дрисса, Дисна, Полота (более 11 : 1 и более).

Как известно, с поверхностным стоком вымывается 0,01–2 % фосфора от вносимых удобрений и 0,3–10% азота, из которого на аммонийную форму приходится 2–10 %, нитратную – 90–98 % [5]. По расчётам авторов, с 1 га сельскохозяйственных угодий в речные воды бассейна в среднем поступает 0,4–0,6 кг фосфора в год только за счет внесенных удобрений. При этом величина смыва фосфора слабо зависит от состава почвогрунтов и не превышает 44 кг/км² в год. С неочищенными и недостаточно очищенными бытовыми стоками в Западную Двину поступает 1,1–2,2 кг/год фосфора в расчете на 1 сельского жителя. Таким образом, основные источники дополнительного поступления в водотоки фосфора – сточные воды промышленных и коммунально-бытовых предприятий в пределах селитебных участков, неочищенные стоки животноводческих комплексов.

Бассейн Западной Двины в белорусской части водосбора – регион интенсивного развития животноводства. На площади в 33 150 км² в настоящее время расположено 14 скотоводческих комплексов, 17 свиноводческих ферм и 5 крупных птицефабрик, в которых размещается более 57 тыс. голов крупного рогатого скота и 200 тыс. свиней, и 5,5 тыс. голов птицы. Степень влияния животноводческих ферм отражается в миграции в первую очередь азота аммонийного, вынос которого достигает 0,01–0,05 кг/сутки в расчете на условную голову скота.

Водосборы рек бассейна испытывают разную по интенсивности и происхождению биогенную нагрузку (рисунок 5). В верхнем течении Западной Двины (рр. Улла, Дисна, Витьба, Оболь, Лучеса и Друйка) значимым источником загрязнения является привнос загрязняющих веществ именно с животноводческих комплексов, поступающих в речное русло как прямоотком с поверхностным смывом, так и за счет инфильтрации в подземные воды. Указанные водосборы характеризуются довольно интенсивным сельскохозяйственным освоением и значительным выносом неусвоенных удобрений



с полей. Напротив, относительно низкая агрохозяйственная нагрузка характерна для водосборов рр. Дриссы, Полоты, Лучесы.

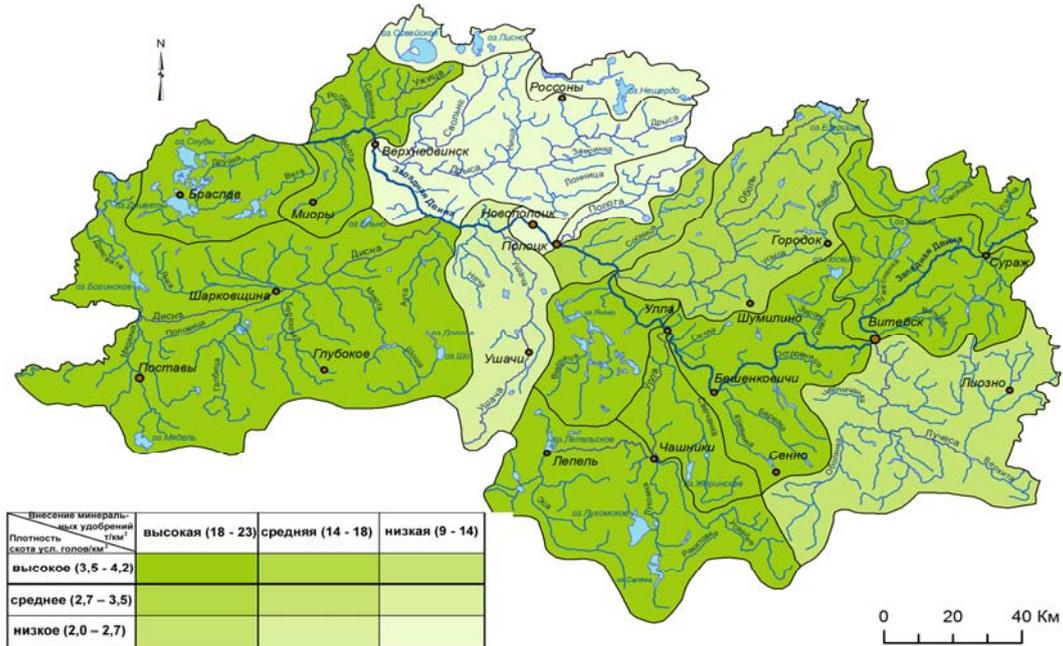


Рисунок 5 – Сельскохозяйственная нагрузка в водосборе р. Западной Двины

Характер использования водосборов рек бассейна представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Характер использования водосборов рек бассейна Западной Двины, по [8]

Водосбор реки	Преобладающие природно-антропогенные комплексы	
	класс	подкласс
Витьба	сельскохозяйственные	пахотные и лугово-пахотные
Ушача	сельскохозяйственные, лесные, рекреационные	пахотные, лесохозяйственные, лесо-водно-рекреационные
Дрисса	лесные, сельскохозяйственно-лесные	лесохозяйственные, лесоболотные, лесополевые, сенокосно-лесополевые
Улла	сельскохозяйственные, рекреационные	пахотные, пахотно-водно-рекреационные
Оболь	сельскохозяйственные,	пахотные, лугово-пахотные
Дисна	сельскохозяйственные, лесные, охраняемые	пахотные, лесохозяйственные, рекреационно-заповедные
Полота	лесные, сельскохозяйственные	лесохозяйственные, лесоболотные, пахотные
Лучеса	сельскохозяйственные, лесные	пахотные, лугово-пахотные, лесохозяйственные
Друйка	сельскохозяйственные, охраняемые	пахотные, рекреационно-заповедные



Для оценки влияния агрохозяйственной нагрузки на биогенный сток рек нами применялся факторный и кластерный анализы параметров условий формирования удельного выноса для группировки водосборов. Кластерный анализ позволил разделить водосборы бассейна Западной Двины на две группы с учетом их природных черт.

В первую группу вошли водосборы рр. Полота, Дрисса и Ушача с меньшей освоенностью (наличие сельскохозяйственно-лесных ландшафтов) и сельскохозяйственной нагрузкой при относительно низком удельном выносе биогенов речным стоком.

Вторую группу составили водосборы рр. Дисна, Улла и Витьба: для них характерны хорошо освоенные сельскохозяйственные и рекреационные ландшафты со значительной и средней агрохозяйственной нагрузкой с повышенным удельным выносом биогенов речным стоком. Характеристики водосбора р. Оболь не стабильны: в кластерном анализе по удельному выносу биогенных элементов рассматриваемая река относится ко второй группе, по сельскохозяйственной нагрузке – к первой, а по сумме параметров водосбор р. Оболь принадлежит к первой группе.

Факторный анализ позволил оценить степень влияния различных факторов агрохозяйственного освоения водосборов на вынос биогенов речными водами (таблица 3). Основным источником поступления рассматриваемых элементов является вынос неосвоенных минеральных удобрений. Значение имеют и неочищенные стоки животноводческих комплексов, поставляющих основную долю азота аммонийного и фосфора общего. Вынос азота нитратного в основном коррелирует с интенсивностью эксплуатации земель (по показателю плотности сельских жителей). Мелиоративное преобразование земель на современном этапе оказывает незначительное влияние на поступление биогенных компонентов в речную сеть.

Полученные данные свидетельствуют о значимом изменении структуры биогенного стока рек бассейна Западной Двины вследствие агрохозяйственного освоения водосборов как основного фактора его трансформации. Вынос биогенных элементов при активном аграрно-селитебном освоении водосборов и, как следствие, преобладании диффузных источников загрязнения зависит от следующих факторов: площади угодий, вида освоения, плотности поголовья скота, характера рельефа, режима стока, водности года, состава удобрений и технологии их внесения, состава почвогрунтов и интенсивности эрозионных процессов, наличия и масштаба мелиоративной сети. Географо-гидрохимический тип речного водосбора определяется, во-первых, гидрохимическими показателями водотоков, во-вторых, степенью преобразования естественных ландшафтов водосборов [9].

Таблица 3 – Результаты факторного анализа зависимости выноса биогенных веществ речным стоком от сельскохозяйственной нагрузки в водосборах Западной Двины

Биогенные вещества	Основные показатели агрохозяйственного освоения водосборов				
	плотность сельских жителей	плотность скота	доля освоенных земель	внесение минеральных удобрений	совокупность факторов
NH_4^+	0,797	0,949	0,103	0,912	0,914
NO_3^-	0,870	0,815	0,248	0,962	0,831
$\text{P}_{\text{общ}}$	0,819	0,908	0,151	0,946	0,617
$\text{N}_{\text{общ}} + \text{P}_{\text{общ}}$	0,822	0,917	0,153	0,967	0,951



Заклучение

Исходя из результатов исследований, а также с учетом известных работ [10], считаем целесообразным проведение следующих мероприятий, направленных на стабилизацию и улучшение качества поверхностных вод в бассейне:

1. Минимизация выноса фосфатов путем увеличения мощности очистных сооружений и применения эффективных методов очистки (например, осаждение фосфатов сульфатом алюминия).
2. Жесткое регламентирование организованного сброса и предотвращение сброса неочищенных сточных вод в речную сеть.
3. Сооружение и регулярная очистка прудов-поглотителей и прудов-отстойников ниже по течению от селитебных участков и животноводческих комплексов на малых реках.
4. Организация пахотного и пастбищного освоения пойм, отказ от их сельскохозяйственного освоения с учетом крутизны склонов.
5. Создание систем противозерозионных полос в местах интенсивного плоскостного смыва с прилегающей территории.
6. Отказ от сведения на мелководьях высшей водной растительности, активно поглощающей биогенные элементы.
7. Уточнение правил ведения хозяйственной деятельности на землях в пределах водоохранных зон и прибрежных полос в соответствии с «Положением о порядке установления размеров и границ ВЗ и ПП водных объектов и режиме ведения в них хозяйственной деятельности» (утверждено Советом Министров РБ от 21.03.2006 г.).
8. Проведение мониторинга поступления загрязняющих веществ с животноводческих ферм и выгребных ям селитебных поселений в грунтовые воды, имеющие разгрузки в реки (родники).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кадацкая, О.В. Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О.В. Кадацкая. – Минск : Наука и техника, 1987. – 135 с.
2. Кольмакова, Е.Г. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е.Г. Кольмакова. – Минск : БГУ, 2009. – 123 с.
3. Гриневич, А.Г. Особенности выноса загрязняющих веществ в бассейне реки Припять / А.Г. Гриневич, Ю.Н. Емельянов, Е.Г. Кольмакова // Вестник Белорусского государственного ун-та. Сер. 2. Химия, Биология, География. – 2000. – № 3. – С. 73–77.
4. Романов, В.П. Оценка поступления биогенных веществ из рассеянных источников / В.П. Романов // Материалы III Международного водного форума «Международное сотрудничество в ранге водно-экологических проблем», 2–3 октября 2008 г., Минск / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ. – Минск, 2008. – С. 102–104.
5. Оношко, М.П. Азот и его минеральные формы в ландшафтах Беларуси / М.П. Оношко. – Минск : Наука и техника, 1990. – 174 с.
6. Кольмакова, Е.Г. Динамика трансграничного переноса загрязняющих веществ в бассейне Западной Двины / Е.Г. Кольмакова, О.И. Маслова // Вестник БГУ. Сер. 2. Химия, Биология, География. – 2008. – № 2. – С. 97–100.



7. Пелешенко, В.И. Оценка взаимосвязи химического состава различных типов природных вод на примере равнинной части Украины / В.И. Пелешенко. – Киев : Вища школа, 1975. – 168 с.

8. Структура географической среды и ландшафтное разнообразие Беларуси / редкол. : И.И. Пирожник [и др.]. – Минск : БГУ, 2006. – 194 с.

9. Маслова, О.И. Географо-гидрохимические типы водотоков бассейна Западной Двины / О.И. Маслова, Е.Г. Кольмакова, Е.А. Козлов // Вестник БГУ. Сер. 2. Химия, Биология, География. – 2009. – № 2. – С. 76–80.

10. Аношко, В. С. Рациональное природопользование Белорусского Поозерья / Аношко В.С. [и др.]. – Минск : ИГН АН Беларуси, 1993. – 202 с.

A.G. Kalmakova, O.I. Maslova, S.V. Grib. Nutrients Runoff of Zapadnaya Dvina Basin Rivers as a Parameter of Agricultural Development of Watersheds.

The results of the estimation of carrying out of ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, total phosphorus by river flow in the Zapadnaya Dvina basin (in the territory of Belarus) are presented. The transport of contaminants by the main river Zapadnaya Dvina is analyzed. The maps of nutrient loads in the Zapadnaya Dvina drainage basin based on GIS-modelling are suggested at first. The dependence of nutrients carrying out by surface overflow from agricultural loading in watersheds is shown.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 03.10.2011 г.



УДК 332.122

К.К. Красовский, Д.В. Никитюк

ПРИГОРОДНАЯ ТЕРРИТОРИЯ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье рассматривается сущность проведения исследования прилегающей к городу территории в контексте существующих подходов к определению размеров, направлений роста и пространственно-функционального использования.

Нарастающая необходимость планирования пространственного развития урбанизированных территорий и управление их ростом, а также пространственно-функциональной координацией требует создания единого теоретико-методического фундамента для изучения данного процесса, а также выработки стандартов для принятия административных решений, которые смогли бы создать открытую систему регулирования данными процессами. Основу пространственного роста города составляет пригородная зона, изучение которой включает в себя исследование процессов урбанизации, расселения, территориальной планировки, размещения предприятий производственной сферы, транспортной логистики и природопользования. Неоднозначность терминологии и содержания понятия «пригородная зона», несформированность методологического аппарата, не соответствие административного статуса прилегающей к городу территории с ее функциональной ролью, отсутствие рыночной системы регулирования земельной стоимости и ренты предопределяет в настоящее время актуальность исследования пригородной территории.

При исследовании пригородной зоны допускается две точки зрения на процессы, происходящие на данной территории. Во-первых, пригородная зона образует совместно с городом пространственно-функциональную систему и в качестве структурной единицы может являться индикатором отраслевого социально-экономического развития города. Поэтому, определив особенности развития пригородной зоны, возможно, оценить уровень, либо идентифицировать стадию пространственно-функциональной эволюции города. Во-вторых, существует возможность исследования пригородной зоны в качестве самостоятельно развивающейся территориальной структуры, которая обладает собственным потенциалом для развития, пространственной координацией, тем самым определяя, либо корректируя пространственно-функциональный рост города. Как в первом, так и во втором случае развитие пригородной зоны отражается на формировании и развитии урбанизированной территории. Данные точки зрения указывает на функциональную роль пригородной зоны, которую возможно свести к следующим направлениям исследования:

- самостоятельность развития пригородной территории;
- подчиненность развитию города;
- «смешанному» подходу, либо симбиозу развития.

Функциональный профиль пригородной территории создается потребностями города. Функции могут незначительно варьировать в зависимости от размеров города, его административной роли и прочих параметров. Однако основные функции остаются, как правило, неизменными, их варьирование происходит чаще всего по причине детерминации значения функции, но не её отсутствием.

В зависимости от экономико-географического положения, уровня социально-экономического развития города перечень функций может дополняться в соответствии



с местными факторами развития. Наиболее распространенные функции города отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Схема функционального назначения типов земель, расположенных на прилегающей к городу территории

	Функциональное назначение	Тип земель
Пригородная территория	Селитебная / резервно-селитебная	Населенных пунктов и прочие не востребованные межселенные территории
	Коммунально-хозяйственная	Населенных пунктов
		Транспорта
		Водного фонда
	Производство и снабжение	Сельскохозяйственные
		Промышленные
		Лесного фонда
		Населенных пунктов
	Связь и перевозки	Транспорта
		Водного фонда
	Рекреационная	Населенных пунктов
		Лесного и водного фонда
		Оздоровительные
		Рекреационные
		Историко-культурные
Природоохранно-восстановительная	Природоохранные	
	Лесного и водного фонда	
	Земли запаса	

Функциональная структура определяет направление транспортного перемещения населения, товаров, ресурсов и информации (таблица 2). Изучение взаимосвязи функций и развития транспортной сети заключается в построении логистической системы, которая позволит оптимизировать рост города, стимулировать развитие удаленных пригородных территорий, сбалансировать распределение миграционного потока населения.

Таблица 2 – Направления транспортного потока

Функциональный тип пригородной территории	Направление транспортного потока
Селитебная	Периферия – центр – периферия
Промышленная	Периферия – центр
Сельскохозяйственная	Периферия – центр
Рекреационная	Центр – периферия

На основании анализа расположения, структуры связей, функционального значения является целесообразным определить пригородную зону как территориальную зону, примыкающую к городской черте, являющуюся неотъемлемой частью города, ус-



тановленную в соответствии с экономическими, пространственными, трудовыми, рекреационными связями и закрепленную комплексом административных, градостроительных документов [2, с. 13].

Часто употребляемым является определение: «Пригородная зона – территория, прилегающая к городу и находящаяся с ним в тесной функциональной, культурно-бытовой и другой взаимосвязи. Пригородные зоны особенно развиты вокруг крупных городов и являются частью городских агломераций. В пригородных зонах крупных городов размещаются пригороды, города-спутники, зоны отдыха, сельскохозяйственные угодья» [3].

Вытекающим из определения пригородной зоны является понятие пригорода, сущность которого можно определить следующим образом. Пригород – это составной элемент пригородной зоны, включающий в себя территории непосредственного перспективного городского освоения и застройки, для которых существуют проектные схемы и планы включения в городскую черту. Для Беларуси, например, данной проектной схемой является «Схема территориального развития городов». Методика определение пригорода в этом случае сводится к вычленению территорий, включенных в данную схему от территорий, находящихся в пределах границы города. Рост города за счет пригорода осуществляется планомерным включением населенных пунктов в состав города с последующим освоением межселенных территорий. Термин пригород не закреплен в градостроительных нормативных документах Беларуси. Отсутствие нормативного термина не отрицает присутствие объекта для изучения. Необходимость изучения обусловлена тем, что исследование механизмов формирования пригорода связано с переходом от научно-исследовательского уровня к практической реализации, либо административному утверждению и регулированию использования территории.

Существуют отличия при употреблении терминов пригородная территория и пригородная зона, которые в равной степени в настоящее время формируют понятие о примыкающей к городу территории. Пригородная зона является отражением процесса зонирования территории, которое может быть основано на определении степени влияния города в целом, как комплексного системного явления, так и затрагивающего отдельные процессы (управление, торговлю и др.) и отрасли (сельское хозяйство, промышленность, рекреацию и др.). В связи с этим пригородная зона зависит от потенциала города воздействовать на окружающее его пространство. Влияние города и его производные показатели (степень, интенсивность, направленность) могут быть оценены путем определения результатов преобразования окружающей территории, выражением которых может служить смена в координации, пространственной организации, функциональной специализации востребованности у городского населения. Данные результаты преобразования используются самим городом при реализации потребностей роста и развития. Обеспечение роста и развития города включает в себе значение пригородной территории.

Стоит отметить стадийность процесса, которая заключается в первоочередности появления зоны влияния города с последующим появлением пригородной территории взаимодействия двух взаимосвязанных потоков продукции, населения, информации и прочих. Поэтому о факте появления пригородной территории свидетельствует появление потока из периферии в центр, обратного распространению влияния. Пригородная территория является полизональным образованием, так как имеет синтетическую основу, сочетающую территории, включенные при реализации различных подходов к зонированию, а также на основании социально-экономических возможностей и целесооб-



разности. Социально-экономическая возможность выступает в качестве доминирующего ограничения, так как заключает в себе финансовые и технические возможности преобразования территории в городскую. Таким образом, существование пригородной территории заключает в себе результат преобразующего влияния города на окружающее пространство.

Существующий теоретико-методический аппарат исследования пригородной территории преимущественно основан на нормативно-административном, экспертно-статистическом, отраслевом и синтетическом подходах. Нормативно-административный подход заключает в себе исследование процессов, происходящих в административно установленных границах пригородной зоны. Данный подход может с одной стороны, выступать в качестве пространственного, нормативно закрепленного фундамента исследования, при котором анализируются и прогнозируются процессы внутри заданной территориальной структуры. С другой стороны, в качестве результата исследования, при этом пространственная конфигурация пригородной зоны определена с помощью иных подходов. Нормативно-административный подход является основополагающим, так как на его основе определяются конкретные направления пространственно-функционального роста и развития города и его окружения; осуществляется землеустройство территории; на нем основываются прочие законодательные документы, регламентирующие развитие пригородной территории. В настоящее время для территории Беларуси наиболее распространен подход, при котором нормативно выделяются пригородная и зеленая зона города, в которой определена лесопарковая зона зеленой зоны города. Кроме того существует поясно-секторальное зонирование прилегающей территории, которое служит для определения степени влияния на хозяйственную деятельность и специализацию предприятий производственной сферы.

Нормативный подход имеет ситуативный характер, который проявляется в решении возникающих затруднений, которые могут заключать в себе ускорение или замедление темпов развития, изменение этапов развития и прочих действий несоответствующих, либо не согласующихся с плано-функциональной схемой пространственного развития и дифференциации пригородной территорий. Ситуативность принятия решений в данном случае может не согласовываться со схемой территориального развития, однако обязано соотноситься с системными принципами функционирования пригородной территории. Нарушение данных принципов может привести к разбалансированию всей системы, выражение которой может проявиться в земельных диспропорциях, муниципальных конфликтах, конфронтациях со стороны хозяйствующих субъектов. Ситуативность изменения пригородной территории порождает прецедентность.

К важнейшим принципам функционирования пригородной территории относятся:

- системность развития;
- иерархичность (административная, функциональная);
- целевая ориентация;
- субсидиарность;
- динамическая самоорганизация.

Отличием определенных выше принципов от прочих, применяемых в землеустройстве, районной планировке является слияние централизирующих принципов, которые обеспечивают функциональную направленность, нормативность, взаимосвязанность и другие качества пригородной системы с децентрализирующими принципами. Экономическая обособленность и административная децентрализация (субсидиарность) необходимы как средство поддержания системы в функциональном равновесии в случае кри-



зисных явлений в городе-центре, которая может выражаться, например в ориентации на различные рынки пригородного сельского хозяйства, привлечению иностранных туристов в пригородные учреждения рекреации. Также следует учитывать положение города и пригородной территории в национальной экономике и системе расселения.

Экспертно-статистический подход является наиболее распространенным для установления условных размеров пригородной территории, полученных путем анализа усредненных показателей для всей совокупности населенных пунктов страны, либо региона. Наиболее распространенными показателями являются площадь города, количество, плотность и динамика населения. Данный подход обезличивает особенности развития выбранного города, как объекта исследования и абстрагирует от локальных факторов и тенденций, влияющих на развитие пригородной территории. Он чаще всего используется для установления примерных размеров пригородной территории при сравнении городов разного иерархического уровня, но не для анализа факторов, процессов и динамики развития пригородной территории. Наиболее распространенные методы экспертно-статистического подхода представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Экспертно-статистические методы определения границ и размеров пригородной территории

Методический подход		Представитель научного направления	Методы определения и индикаторы формирования
Нормативно-статистический	Градостроительный Районная и территориальная планировка	ГСКТО СССР (1950–60 гг.)	500 тыс. чел. – 700–800 тыс. га; 1 млн. чел. – 1 млн. га [4]
		Г.А. Потаев, Е.Н. Перцик, И.А. Иодо, З.Н. Яргина	1 млн.чел. – 30–50 км; 0,5-1млн.чел. – 25–30; 0,1-0,5 млн.чел. – 20–25 км [5–7]
		В.В. Покшишевский	150–700 кв.м. – для удовлетворения потребностей населения города [8, с. 75]
Социально-экономический	Социо-демографический	М.О. Хауке	– Интенсивность маятниковой миграции и трудовой миграции [9, с 25]
	Транспортный	В.А. Каменский	– Пригородный транспорт; – личный транспорт; <i>Пример: для отдыха при перемещении на легковом автомобиле</i> <i>Кратковременный 0,5 ч. – 39 км</i> <i>Однодневный 1,5 ч. – 130 км</i> <i>Долговременный 2,5 ч. – 220 км [4, с. 58]</i>

Сущность отраслевого подхода заключается в установлении размеров и границ концентрации, либо специализации предприятий и территорий на производстве определенных видов продукции, распространения явлений и процессов. Отраслями для исследования выступают промышленность, сельское хозяйство, строительство, рекреация, наука. Наиболее часто встречающейся отраслью является сельское хозяйство, для которого определяются следующие показатели:

- расстояние для транспортировки сельскохозяйственной продукции;
- граница хозяйств, специализирующихся на производстве скоропортящейся продукции (овощей, фруктов, картофеля и др.);



– граница хозяйств, ориентированных на продажу продукции в город [10, с. 34].

В качестве примера может выступать следующая наиболее часто встречающаяся схема размещения: 10–15 км – овощи, фрукты; 20–25 км – «молочное кольцо»; 50 км – «картофельный пояс». Кроме того стоит отметить, что многие отрасли образуют комплексы, которые достаточно сложно рассматривать вне взаимосвязи. В связи с этим появилась потребность в рассмотрении размеров пригородной зоны на основании производственных комплексов (АПК, ТЭК и прочих).

К перечню подходов можно также отнести экистический подход, рассматриваемый Г.М. Лаппо при характеристике свойств пригородной зоны. Основные задачи подхода можно свести к определению [11]:

- агломерационных тенденций, происходящих в пригородной форме расселения;
- пространственно-функциональной роли населенных пунктов в системе расселения;
- степени урбанизации сельских поселений.

Индикаторами при экистическом подходе являются изменения в системе расселения, происходящие на локальном уровне. Населенные пункты, расположенные в пределах пригородной территории входят в состав одновременно нескольких системных образований. Прежде всего, это национальная, районная и местная система расселения, а также форма расселения населения, которая формируется под влиянием урбанизированной зоны и зоны агломераций. Положение в системе расселения и влияние зон на пригородную территорию отражается в свойствах производственной и социально-экологической системы территории, которые создают пригородную форму расселения. Положение пригородной формы расселения включает в себе значение ресурса развития города и интеграционного буфера. Пригородная форма расселения характеризуется также не однородной структурой, которая может выражаться как в системных, так и в отраслевых принципах выделения.

Отличием пригородной формы расселения является присутствие, либо концентрация населенных пунктов:

- городов спутников;
- дачных поселений и садовых товариществ;
- курортов, либо населенных пунктов, расположенных в зонах отдыха и вблизи учреждений отдыха и оздоровления, не имеющих выраженной рекреационной специализации, однако находящихся во взаимосвязи и взаимозависимости;
- промышленных населенных пунктов (преимущественно обрабатывающая, использует город как ресурс роста и развития);
- специализированных сельскохозяйственных населенных пунктов;
- обслуживающих транспорт.

Синтетический подход основан на объединении вышеизложенных подходов, а также частных методик определения зоны влияния города (метода потенциалов, кластерного и факторного анализа и др.). Сложность применения данного подхода основана на разнородности в пространственно-временной направленности процессов, которые формируют пригородную территорию. Кроме того индикаторы данных процессов могут различаться и представлять несопоставимые совокупности. Следовательно, целью синтетического подхода является унификация и определение взаимосвязи и взаимозависимости структурных элементов пригородной территории как системного образования, а также дифференциация удельного веса частных показателей в общей совокупности с возможным последующим определением доминант развития.



Принципы, которые необходимо соблюдать при исследовании пригородной зоны, можно обобщить в следующие положения:

- комплексный подход к определению величины пригородной зоны;
- границы пригородной зоны должны включать территории, позволяющие удовлетворять главные потребности города, отражать основные функциональные связи с пригородным пространством;
- оптимальность размера пригородной зоны, рациональное использование ее ресурсов;
- учет отраслевых особенностей города, специфики развития территорий, вошедших в пригородную зону;
- дифференцирование степени влияния города в пределах пригородной зоны;
- соблюдение экологического равновесия в городе и его окружающем пространстве.

Целями проведения системного исследования пригородной территории должно являться определение единого пригородного планировочно-функционального пространства, которое обеспечивает потребности города и образует с городом социально-культурные, административные, информационно-технологические и экономические взаимосвязи. Реализация данной цели требует вычленить уровни исследования для определения доминант развития, факторы формирования и индикаторы (показатели) развития. Примерная структурная схема исследования пригородной территории представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Структура исследования пригородной территории

Уровни	Факторы формирования	Объекты и явления исследования	Примерные показатели
Основной	Пространственно-временной	Доступность	Скорость; время; интенсивность транспортного потока
		Транспортная сеть	Густота транспортной сети; связность; технические свойства дорог
		Пригородный транспорт	Пассажиропоток; периодичность
	Население	Населенные пункты	Величина населенного пункта; плотность и людность населенных пунктов; среднее расстояние между населенными пунктами
		Миграции	Интенсивность межрайонных миграций; маятниковые трудовые миграции; механический прирост
	Социально-экономический	Промышленность	Занятость; удельный вес предприятий промышленности, с/х и третичного сектора экономики; уровень интенсификации сельскохозяйственного производства; специализация предприятий
		Сельское хозяйство	
		Землепользование	Кадастровая оценка земли; динамика границ города и смена функционального использования



Продолжение таблицы 4

	Экологический	Загрязнение	Предельно допустимые концентрации; удельный вес выбросов загрязняющих веществ	
Отраслевой	Производственно-экономический	Предприятия промышленности и сельского хозяйства	Рынки сбыта: стоимостные и натуральные показатели реализации продукции в городе; степень обеспечения города продукцией; эффективность размещения предприятия	
	Информационно-технологический	Предприятия сферы четвертичного сектора (информационные технологии, управление, наука).	Количество преобразующих нововведений и инноваций; прогрессивность роста и развития населенных пунктов и отдельных субъектов хозяйствования; интеграция информационной системы	
	Рекреационный	Туристские и рекреационные предприятия (места пребывания)	Туристско-рекреационные зоны Объекты придорожного сервиса (отели) Садоводческие и дачные участки	Обеспеченность номерным фондом; емкость территории; структура спроса; привлекательность ландшафтов; продолжительность пребывания, расположение
		Туристско-рекреационные зоны		
Объекты придорожного сервиса (отели)				
			Количество участков; характер использования	
Частный	Внутреннего формирования	Специфика функционирования отдельного предприятия		

Содержание и последовательность процесса формирования пригородной территории отражается в этапах исследования, среди которых можно выделить следующие:

- проведение общего анализа развития территорий, окружающих город, включающего изучение демографии, экономики, производства, землепользования, экологии на основе статистической информации;
- установление функциональных связей города с пригородными территориями;
- отбор и обоснование факторов и показателей, влияющих на образование функциональных связей;
- выделение территорий, находящихся в зоне влияния города;
- определение территорий удовлетворяющих потребности города;
- установление границы пригородной зоны на основе комплексного зонирования, отражающего основные функциональные связи;
- установление границ пригорода;
- прогнозирование пространственного роста города и пригородной территории.

Результатом исследования прилегающей к городу территории является делимитация границы пригородной зоны со стороны муниципальных властей. Значение делимитации основано на том, что определенная граница обуславливает пространственно-функциональное развитие, степень преобразований, уровень цен на землю в пригородной территории для использования в строительстве, рекреации, сельском хозяйстве и прочих направлениях землепользования.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поносов, А.Н. Социально-экономические аспекты формирования территорий поселений в зоне влияния крупного города (на примере пригородной зоны г. Перми) : дис. на соискание ученой степени кандидата экономических наук : 08.00.05 / А.Н. Поносов. – Пермь, 2007. – 186 с.
2. Финансовый словарь // Финам [Электронный ресурс] – 2011. – Режим доступа: <http://www.finam.ru/dictionary> // Дата доступа : 30.05.2011
3. Каменский, В.А. Пригородные зоны крупных городов / В.А. Каменский / под ред. И.И. Фомина, Б.В. Муравьева. – Л. : ГСИ, 1963. – 149 с.
4. Иодо, И.А. Градостроительство и территориальная планировка : учеб. пособие / И.А. Иодо, Г.А. Потаев. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 285 с.
5. Яргина, З.Н. Основы теории градостроительства / З.Н. Яргина. – М. : Стройиздат, 1986. – 245 с.
6. Перцик, Е.Н. Районная планировка (территориальное планирование) : учеб. пособие для студентов вузов / Е.Н. Перцик. – М. : Гардарики, 2006. – 398 с.
7. Покшишевский, В.В. Население и география: Теоретические очерки / В.В. Покшишевский. – М. : Мысль, 1978. – 315 с.
8. Хауке, М.О. Пригородная зона большого города / М.О. Хауке. – М. : ГСП, 1960. – 174 с.
9. Черемушкин, С. Д. Основные принципы экономической оценки земли / С.Д. Черемушкин, А.П. Клопотовский, М.В. Маркова – Москва : Всесоюзный научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, 1962. – 80 с.
10. Лаппо, Г.М. География городов / Г.М. Лаппо – М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1997. – 480 с.

K.K. Krasovski, D.V. Nikityuk Suburban areas: theoretical and methodological foundations of research

This article discusses the nature of the study area adjacent to the city in the context of existing approaches to determining the size, growth trends and the spatial-functional use.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 07.09.2011 г.



УДК 550.834 (265.546)

В.Л. Ломтев

НОВОЕ В СТРОЕНИИ И ГАЗОНОСНОСТИ ЗАПАДНОГО БОРТА СЕВЕРО-ТАТАРСКОГО ТРОГА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

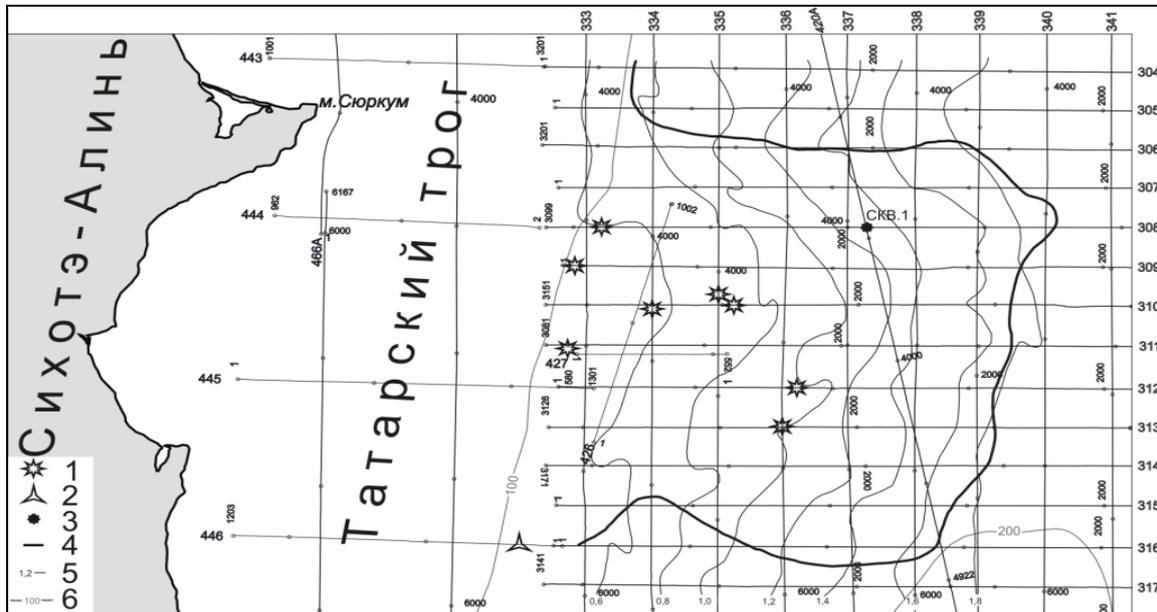
По результатам переинтерпретации данных МОГТ обсуждаются новые особенности строения западного борта Татарского трого (Японское море). Среди них: 1) скоростные аномалии типа «залежь», 2) структуры прорыва флюидов, близкие грязевулканам, 3) газовые окна и столбы как зоны перерыва или заметного ослабления сейсмозаписи в отложениях палеогена и неогена. Эти признаки газо- и возможно нефтеносности осадочного разреза известны более 50 лет в мировой нефтегазовой сейсморазведке. Они позволяют предполагать, что под клином отложений неогена залегают отложения палеогена мощностью более 3-4 км, выполняющие погребенный краевой прогиб складчатого Сихотэ-Алиня.

Введение. Татарский трог соответствует одноименному проливу между Сихотэ-Алинем и Сахалином. Геолого-геофизическими методами, включая бурение, он изучается более 50 лет [2; 3; 6; 9; 14–17; 21; 23–25]. Полагают, что по отложениям неогена и палеогена он представляет собой асимметричный грабен, точнее полуграбен с зоной выклинивания на западном борту и депоцентром или зоной максимальных (5–10) мощностей на восточном. В тектоническом плане его принято считать рифтом или рифто-грабеном, заложившемся в позднем палеогене. Однако разновозрастность его складчатых плечей (конец позднего мела для Сихотэ-Алиня и средний плейстоцен для Западно-Сахалинского моноклиория по данным В.К. Кучая и др. [6; 15]), а также существенные различия в тектоническом строении бортов, обнаруженные по результатам съемок многоканального МОВ-ОГТ (метод отраженных волн – общая глубинная точка) ОАО «Дальморнефтегеофизика» (далее ДМНГ), нетипичны для рифтов [22] и позволяют рассматривать его как молодой (среднечетвертичный) тектонический трог.

По результатам бурения 11 поисковых скважин на сахалинском складчатом абразионном шельфе и двух на о-ве Монерон (шельф ЮЗ Сахалина) открыто одно небольшое Изильметьевское месторождение газа и выделен Северо-Татарский нефтегазоносный бассейн [21]. Столь скромные результаты нефтегазопоисковых работ обусловлены в основном отсутствием коллекторов в депоцентре кайнозойского осадочного бассейн из-за его удаленности (>50–100 км) от областей сноса (Сихотэ-Алинь и Восточный Сахалин) и малых (до 1 м/км) уклонов дна бассейна [15; 25]. Придонные клиноформы наращивания в верхах дерюгинского сейсмокомплекса надежно фиксируют снос осадков со стороны Западно-Сахалинских гор и Сихотэ-Алиня, а также их транзит вдоль Татарского пролива к югу в квартере. Отсюда следует, что коллектора и залежи углеводородов (УВ) нужно искать в зоне регионального выклинивания отложений палеогена [2; 3; 6] и неогена на западном борту трого [15; 25]. Этот вывод отчасти поддерживают идея латеральной миграции углеводородов (УВ) по восстанию пластов [2], но главное – аномально завышенная (>3–4 км) для зоны выклинивания видимая мощность осадочного палеогена на сеймопрофилях мористее Совгавани и УВ-аномалии на Сюркумском погребенном выступе (рисунок 1). Последние впервые были замечены при подготовке рекомендации на бурение параметрической скв. 1 [14]. В связи с этим в настоящей работе проведена типизация УВ-аномалий на западном борту Татарского трого (рисунки 1–5). В частности, среди них выделены и описаны газовые окна и столбы, структуры прорыва флюидов (СПФ), близкие по строению грязевулканам (термин [8]) и аномалии типа «залежь» (АТЗ [24]). Они давно известны на профилях МОВ-ОГТ



и НСП МОВ (одноканальное непрерывное сейсмопрофилирование методом отраженных волн) в нефтегазоносных бассейнах мира, в том числе Северо-Сахалинском кайнозойском [1; 5; 7; 24], а недавно были обнаружены и на абиссальном ложе СЗ и ЮЗ Пацифики [12; 13].

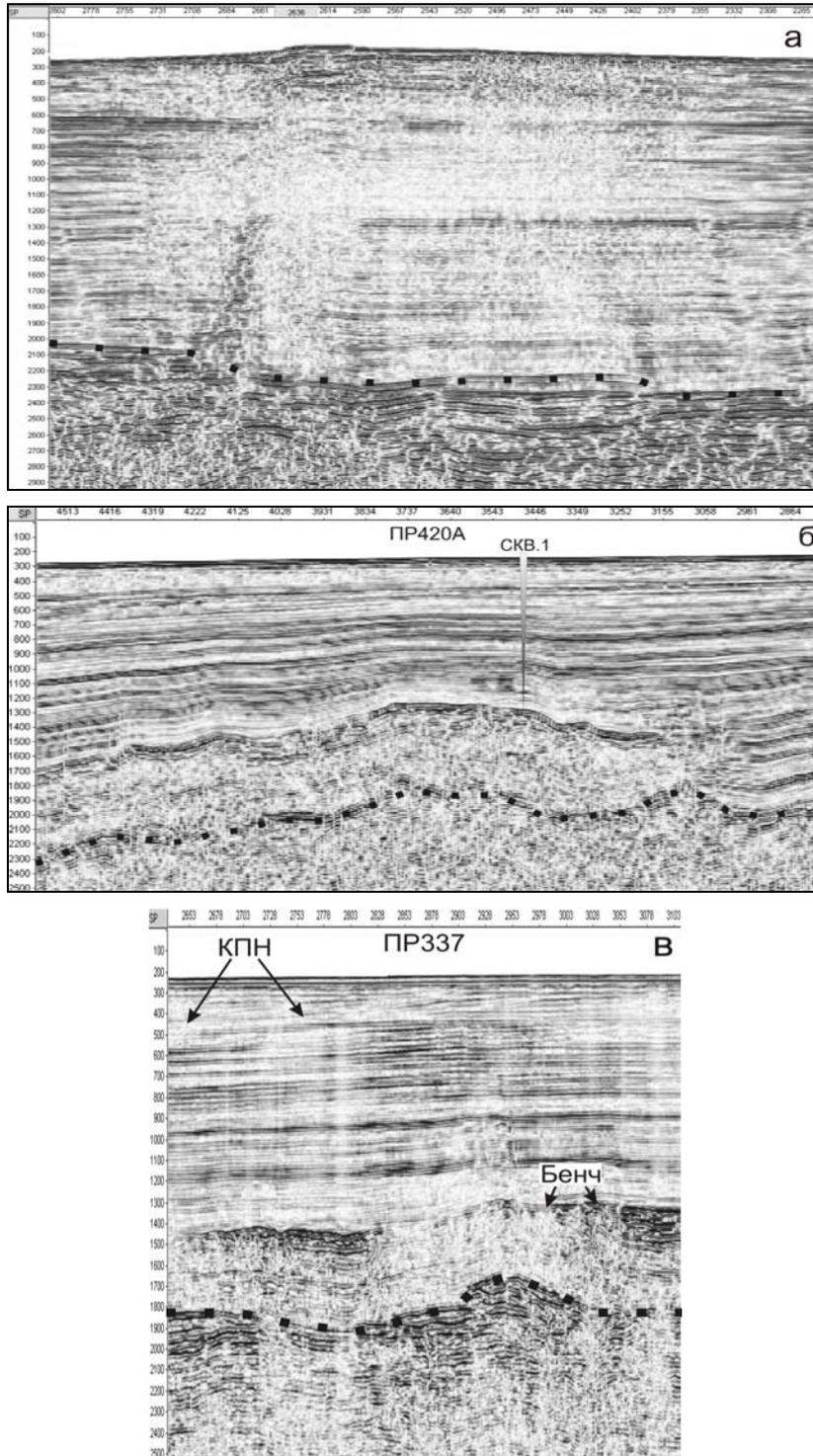


1 – аномалии типа «залежь» (АТЗ), 2 – структура прорыва флюидов (СПФ), 3 – положение параметрической скв. 1, 4 – контуры выступа, 5 – изохроны кровли выступа (верхний коллектор) в секундах двойного пробега по Г.Ф. Балабко и др. (ДМНГ), 6 – изобаты в метрах

Рисунок 1 – Карта погребенного Сюркумского выступа с профилями МОВ-ОГТ ДМНГ объекта 22/83 [14]:

Газовые окна и столбы. В сейсморазведке МОВ известны под разными названиями с конца 50-ых годов прошлого века («слепые зоны», зоны ОО или отсутствия отражений, зоны газонасыщения или избыточной газонасыщенности, газовые окна, столбы, плюмы, конусы, факелы, трубы дегазации и др. [7; 12–16; 19]). На временных разрезах МОВ-ОГТ и НСП они опознаются по перерыву или ослаблению интенсивности (осветление) сейсмозаписи. По данным газового каротажа их образование связано с газонасыщенностью (5–30 % от объема пор) осадочного разреза, поэтому их можно считать газопроявлениями. По результатам изучения газовых окон (в основном придонных) на нефтегазоносном шельфе Северо-Восточного Сахалина установлено, что источником газа в них являются залегающие глубже залежи УВ, следовательно, они имеют важное поисковое значение [7]. Иногда на профилях МОВ-ОГТ удается видеть, как месторождение УВ, например Изыльметьевское в Татарском проливе, венчает газовый столб, проникающий до подошвы кайнозойского чехла (см. профиль 420, объект 14/86, фонды ДМНГ). Отсюда следует, что газовые окна, столбы и залежи газа суть взаимосвязанные стороны процесса миграции газа из зоны термогенерации к поверхности с локализацией в пластах-коллекторах зоны аккумуляции.

На западном борту Северо-Татарского трога газовые окна и столбы в кайнозойском чехле распространены почти повсеместно (рисунки 2а-в).



КПН – четвертичные клиноформы продольного (к югу) наращивания; скв. 1 – Сюркумская параметрическая скважина [14]; линия черных квадратов – подошва неогена (здесь и на других профилях). Вертикальный масштаб в секундах двойного пробега с шагом 0,1 с, горизонтальный – гидроточки ОГТ с шагом 40 т/км (здесь и на других профилях)

Рисунки 2а–в – Газовые окна и столбы на профилях МОВ-ОГТ (примеры)



Так, пример рассеянной миграции газа кверху можно видеть на субмеридиональном профиле 120-канального МОВ-ОГТ протяженностью 10 км, отработанном к югу от Сюркумского выступа (рисунок 2а). Газ мигрирует по неоген-четвертичному разрезу, что позволяет предполагать его термогенерацию в подстилающих палеогеновых отложениях с контрастной пачкой в кровле (сергеевский комплекс [6; 15; 25]).

Два других примера газопроявлений связаны с крупным Сюркумским погребенным выступом, представляющем собой структурный нос размером 40х40 км мористее одноименного мыса на хабаровском побережье Татарского пролива. На субмеридиональном профиле 420А через его восточный фас газонасыщенность низов осадочного миоцена и подстилающих отложений палеогена фиксируется по перерыву в прослеживании отражающих границ, прозрачной (газовой) шапке мощностью 150–250 м над региональным коллектором (контрастный горизонт в своде) и полупрозрачному разрезу (рисунок 2б). Поскольку эти признаки в той или иной степени наблюдаются и на других сейсмопрофилях, пересекающих Сюркумский выступ, то с учетом мелководных (бенчи), прибрежно-морских обстановок осадконакопления на подводной окраине Сихотэ-Алиня его можно рассматривать как прибрежную газовую банку.

На профиле 337 газовые окна и столбы на южном крыле Сюркумского выступа наблюдаются по всему разрезу, включая четвертичные клиноформы продольного наращивания к югу (рисунок 2в). Термогенерация газа здесь также происходит в отложениях палеогена, имеющих, видимо, значительную мощность. На этом примере отметим разную форму газопроявлений в перспективном (~1,4–2,0 с) интервале разреза (в основном газовые окна) и его региональной покрывке (узкие газовые столбы или факелы), возможно связанную с их литологией и трещиноватостью.

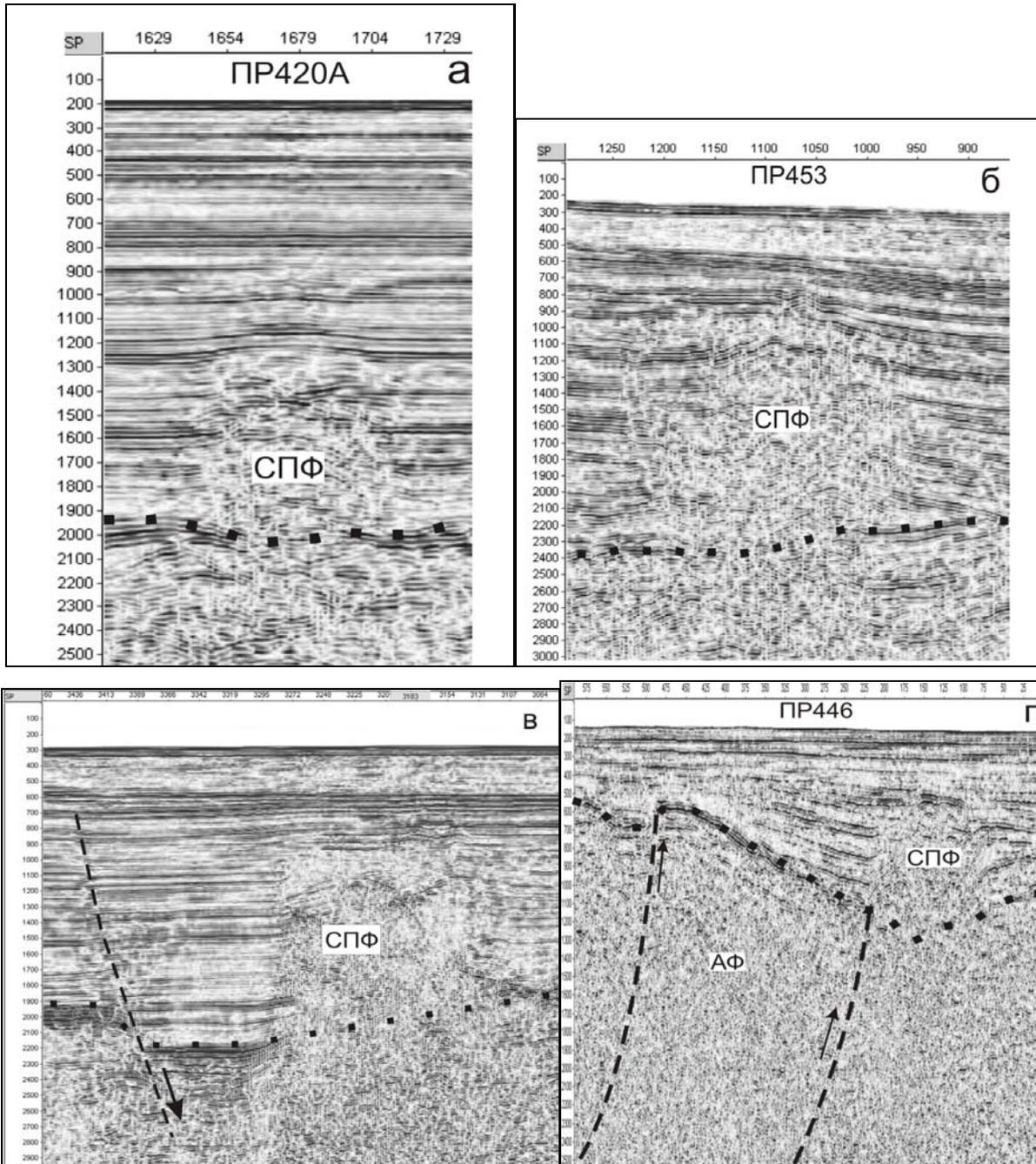
Структуры прорыва флюидов. В исследуемом регионе структуры прорыва флюидов впервые описаны в [15]. Они представляют собой вертикальные, сложнопостроенные зоны перерыва отражающих границ в кайнозойском осадочном чехле (рисунки 3а-г), сходные с грязевулканами, известными спутниками нефтегазоносных провинций [20]. Грязевулканы давно известны на Сахалине [4], где их образование (Пугачевский и Южно-Сахалинский) связывают с молодым (среднечетвертичным по В.К. Кучаю [18]) Центрально-Сахалинским взбросо-надвигом меловых пород и зоной аномально высокого пластового давления, водонасыщения и разуплотнения (сопочная брекчия) глинистого кайнозоя, а по мнению авторов [4] и позднемеловых пород в его лежащем крыле.

Самая северная структура прорыва флюидов на западном борту Северо-Татарского трога обнаружена на профиле 420А в 68 км к северу от Сюркумского выступа (рисунок 3а). Это сложнопостроенное, полупрозрачное, субвертикальное тело шириной 1–2 км в низах миоценового разреза шириной 1–2 км. Кровля внедрившихся газо- и водонасыщенных осадочных масс (сопочная брекчия?) здесь намечается в интервале 1,3–1,4 с, что подчеркивает небольшой антиклинальный изгиб перекрывающих слоев (глинистый минидиапир?). Здесь в интервале 1,0–1,3 с также четко видны аномальное выполаживание слоев в своде диапировой складки, смена полярности и интенсивности отражений (АТЗ?), что указывает на их газо- и возможно водонасыщенность.

Крупная структура прорыва флюидов шириной 2,5–5 км обнаружена на профиле 453 объекта 14/86 в 65 км к югу от Сюркумского выступа и в 52 км к востоку от побережья Сихотэ-Алиня между портами Ванино и Совгавань (рисунок 3б). Она выделяется в отложениях неогена и подстилающего палеогена (интервал 0,6–3,0 с и видимо глуб-



же) как сложнопостроенное, полупрозрачное, т.е. газонасыщенное, тело с массой микродифракций и коротких разнонаклонных отражений (зона сложного волнового поля).



Рисунки За-г – Структуры прорыва флюидов (СПФ) на профилях МОГТ (примеры):
АФ – акустический фундамент, пунктиры со стрелками – предполагаемые разломы и смещения по ним (в,г)

Ее боковые стенки неровные с выступами (клиньями) и смежными карманами, что указывает на внедрение в неогеновый чехол низкоскоростных, газо- и вероятно водонасыщенных осадочных масс (сопочная брекчия?). На глубине 1,1 с выпуклый изгиб контрастных неогеновых слоев (глинистый диапир?) маркирует кровлю этих масс, но без



образования грязевого конуса. Отметим угловое несогласие в подошве неогенового чехла, характерное по данным МОВ-ОГТ для западного борта Татарского трога в его в южной, глубоководной части.

Структура прорыва флюидов шириной до 3,5 км обнаружена к югу от Сюркумского выступа профилем 120-канального МОГТ в верхней части подводного континентального склона (рисунок 3в). Она представляет собой крупный антиклинальный изгиб слоев в интервале 1,1–1,5 с (глинистый диапир?) с небольшими «яркими пятнами», газовой шапкой, АТЗ типа ложного провала шириной 1 км и V-образное палеоруло или интрузию типа лополита. Эта структура также имеет сложное, субвертикальное строение и полупрозрачный облик, указывающий на газо- и вероятно водонасыщенность отложений. Судя по перерыву в прослеживании контрастного сергеевского комплекса внедрение сопочной брекчии и газа очевидно происходит из подстилающего осадочного разреза палеогена значительной (4–5 км) мощности [17].

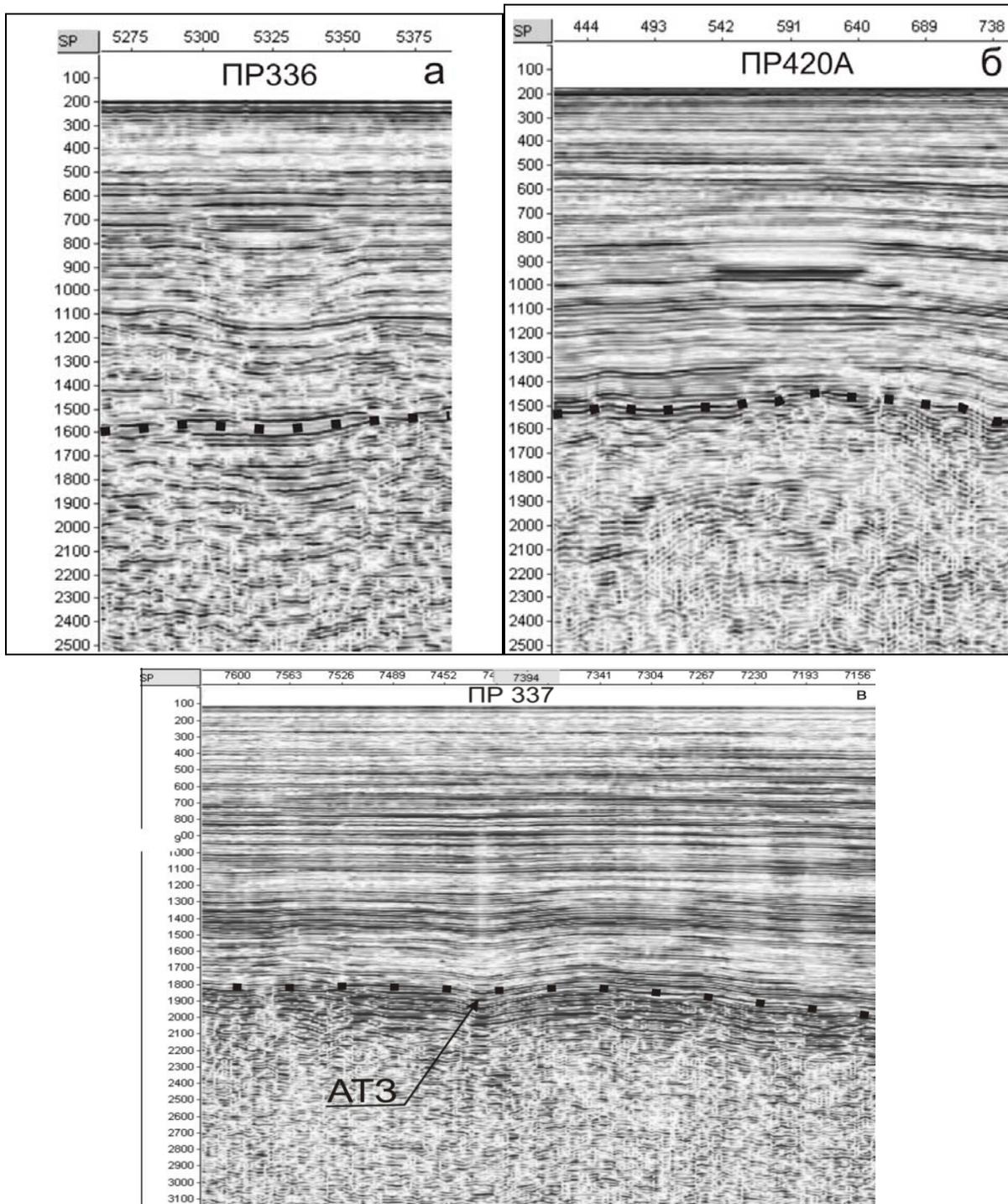
Самая мелководная СПФ обнаружена в заметно утоняющемся клине отложений неогена на профиле 446 у юго-западного края Сюркумского выступа (рисунки 1, 3 г). Ее поперечник достигает 3 км при высоте 0,6 км. Кровлю внедрившихся полупрозрачных, водо- и газонасыщенных масс (сопочная брекчия?) маркирует «яркое пятно» на уровне 0,5 с. По аналогии с грязевулканами Сахалина здесь намечены два преднеогеновых взбросо-надвига западного падения, ограничивающие фронтальную тектоническую пластину Сихотэ-Алиня (акустический фундамент, сложенный меловыми породами [3; 6; 21; 23]). Последняя для УВ и структур прорыва флюидов в палеогеновом разрезе Сюркумского выступа и прилегающих территорий является региональным экраном.

Аномалии типа «залежь» (АТЗ). На профилях МОГТ ДМНГ по Чайвинскому многопластовому месторождению УВ на шельфе СВ Сахалина описаны два морфологических типа аномалий типа «залежь» шириной 2 км [13; 24]. В его центре (свод Чайвинской антиклинали) закартирован ложный симметричный провал отражающих границ (псевдосинклиналь), на 200-300 м затрагивающий и низы покрывки, а на периферии – ложный минигайт или трапедия. Заверка бурением ложного провала на этой структуре дала толчок крупномасштабной нефтегазовой разведке шельфа СВ Сахалина, а ныне и его промышленной разработке. Отметим известное и существенное различие в амплитуде снижения скорости продольных волн в нефтяных (до 5–6 %) и газовых (до 30 %) пластах, которое практически исключает выделение АТЗ первых на фоне вторых в многопластовых нефтегазовых залежах. По данным В.Э. Кононова ширина АТЗ и залежей УВ в Северо-Сахалинском нефтегазовом бассейне соотносятся как 1:3 [13]. Широко известны и другие, хотя и не столь надежные, признаки залежей УВ на временных разрезах МОГТ – яркое пятно, смена полярности сигнала, дифракции, аномальное затухание высоких частот и ухудшение коррелируемости отражающих границ [1; 5; 24].

На западном борту Татарского трога АТЗ картированы мористее предполагаемого фронтального взбросо-надвига Сихотэ-Алиня, фиксируемого зоной положительных остаточных гравианомалий в [6] (рисунки 1, 4, 5). В основном преобладают псевдосинклинали диаметром 0,9-2,1 км, в том числе на Сюркумском погребенном выступе площадью 1 600 км². АТЗ на рисунке 4а одна из самых крупных. Она располагается на пересечении широтного (313) и меридионального (336) профилей МОВ-ОГТ, поэтому можно предполагать ее кольцевую форму в плане. В контуре аномалии снижение скорости распространения продольных волн достигает 16 % и близко таковому на Чайвинской псевдосинклинали [17]. Восемь аномалий типа «залежь» и одна структура прорыва флюидов на этом выступе позволяют предполагать наличие залежей газа в отложениях миоцена и подстилающего палеогена



(интервал 1,1–1,8 с). Региональный коллектор мощностью 100–200 м в кровле перспективного интервала находится на глубине 1,1 с. На сейсмопрофилях он акустически контрастен, имеет слоисто-шероховатое строение, местами с абразионным срезом пологонаклонных слоев (рисунок 2в). Следовательно, территория Сюркумского выступа в это время представляла собой прибрежную банку, к северу, востоку и югу от которой аккумуляровались тонкослоистые шельфовые осадки [15; 25].



Рисунки 4 а-в – Примеры АТЗ на профилях МОВ-ОГТ



АТЗ шириной 3 км обнаружена на окончании субмеридионального профиля-связки 420А в 67 км к северу от Сюркумского выступа (рисунки 1, 4б). Это типичный минигайот (трапеция) в своде низкой асимметричной антиклинали шириной более 10 км. Помимо выполаживания отражающих границ, характерного для периферии Чайвинского многопластового месторождения УВ [24], здесь четко проявлены смена полярности и интенсивности фаз в интервале разреза 0,7–1,5 с, включая яркое пятно (интервал 0,9–1,0) и полупрозрачную газовую шапку (интервал 0,7–0,9 с). В отличие от Сюркумской прибрежной банки здесь преобладают осадки мелководного шельфа с многочисленными песчаными пластами (контрастные горизонты). Отметим здесь также тонкослоистое строение верхов палеогенового разреза, более характерное для осадочного чехла, чем акустического фундамента. Полупрозрачный облик и прерывистость отражающих границ указывают на его газонасыщенность и, вероятно, значительную мощность [17].

К югу от Сюркумского выступа АТЗ на профиле 337 (рисунок 4в) представляет собой ложный провал шириной 1,8 км, обусловленный залежью газа в низах миоцена - олигоцене (интервал глубин 1,5–2,0 с). Газовую специализацию этого перспективного интервала фиксируют полупрозрачные газовые столбы или факелы в региональной покровке, в том числе и над самой АТЗ. Отметим также тонкую субгоризонтальную расчлененность и полупрозрачный облик (газонасыщенных?) низов видимого разреза (интервал 2,1–3,1 с), более характерные для палеогенового осадочного чехла, чем акустического фундамента, сложенного меловыми породами [6; 21; 23].

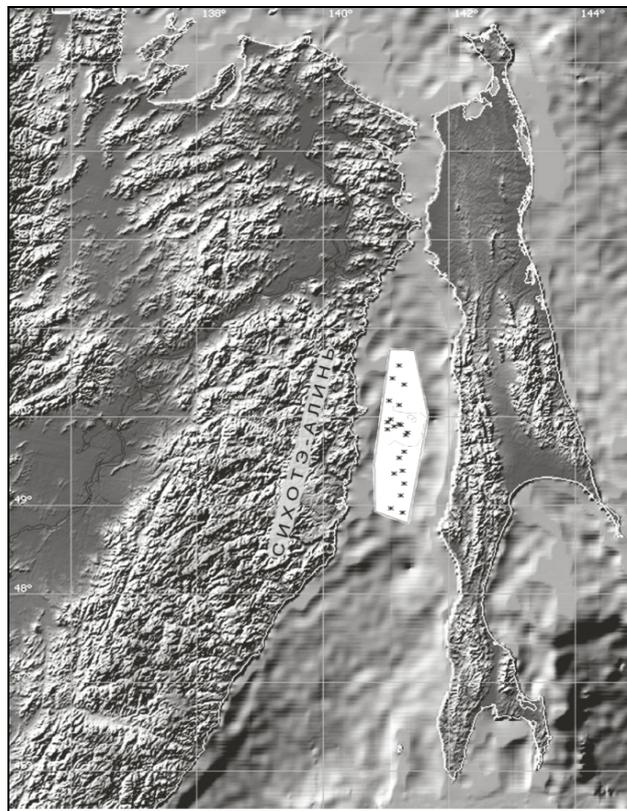
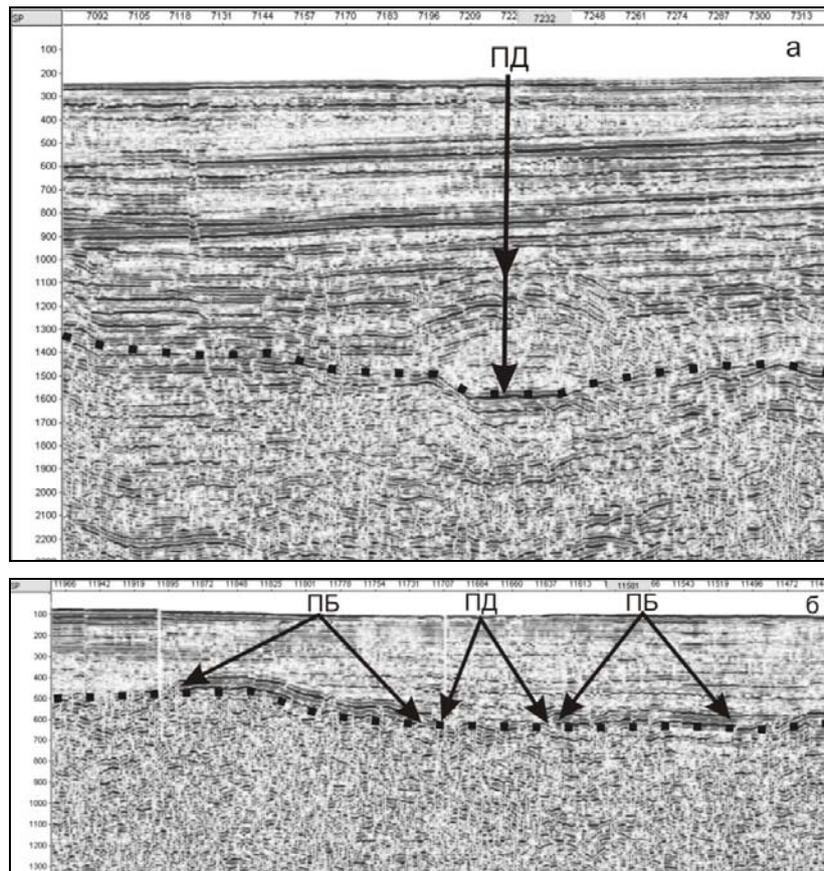


Рисунок 5 – Карта АТЗ и структур прорыва флюидов на западном борту Северо-Татарского трога. Основа карты – <http://tsun.ssec.ru/tsulab> (Новосибирск)



С учетом «сухого» бурения на Александровской структуре сахалинского шельфа Татарского пролива с крупным плоским ярким пятном в перспективном интервале неогенового разреза [6] уместно представить два примера ложных ярких пятен, связанных видимо с кизинскими платобазальтами раннемиоценового возраста, известными в геологии хабаровского побережья севера Татарского пролива [3; 6]. На рисунке 6а последние выделяются по интенсивному двухфазному отражению в подошве морского осадочного неогена. Платобазальты драпируют преднеогеновый, видимо субаэральный, палеорельеф, имеют пластовое строение и выдержанную (50–100 м) мощность. В широкой погребенной речной палеодолине они, вероятно, эродированы (перерыв в прослеживании).

На рисунке 6б небольшое (1 км) яркое пятно, напротив, обнаружено на дне узкой речной палеодолины, врезанной на том же стратиграфическом уровне, что и в предыдущем примере. Судя по яркости, двухфазному строению и выдержанной толщине (50–100 м) оно представляет собой долинный лавовый язык кизинских платобазальтов во внешней, восточной части ареала их распространения. Выпуклая линза миоценовых морских осадков над ними (осадочная лопасть авандельты?) формировалась на прибрежном мелководье, поэтому может представлять собой достаточно протяженную литологическую ловушку УВ.



Рисунки 6а,б – Ложные яркие пятна, связанные вероятно с кизинскими раннемиоценовыми платобазальтами (ПБ):
ПД – подводная долина



Обсуждение результатов. Представленные материалы МОВ-ОГТ ДМНГ по западному борту Татарского трога надежно фиксируют признаки газоносности кайнозойского осадочного чехла (скоростные аномалии типа «залежь», газовые окна и столбы, структуры прорыва флюидов). Зона их распространения протяженностью более 220 и шириной 50 км параллельна побережью Сихотэ-Алиня (рисунок 5) и приурочена к полосе отрицательных остаточных гравияномалий в полосе внешнего шельфа и прилегающей части континентального склона (глубины 100–200 м) в [6]. В связи с этим здесь можно предполагать погребенный краевой прогиб или палеожелоб складчатого Сихотэ-Алиня, выполненный в основном отложениями раннего палеогена видимой мощностью более 4–5 км (нефтегазоматеринский комплекс [17]). В позднем палеогене он был инверсирован при надвиге меловых пород акустического фундамента к востоку (рисунки 3г, 7). Последние выходят под дно по данным МОВ-ОГТ, грави- и магнитометрии на внутреннем шельфе и интродуцированы кайнозойскими магматитами различного состава [6]. Т.о. фронтальный надвиг Сихотэ-Алиня разделяет прибрежную зону положительных гравияномалий, частью изометричных (магматические диапиры?), и отрицательные гравияномалии внешнего шельфа (краевой прогиб). Тип этого скрытого на сейсмопрофилях разлома и его региональное падение к западу (рисунки 3г, 7) можно независимо определить также на основании аналогии между структурами прорыва флюидов на западном борту Северо-Татарского трога и сахалинскими, Пугачевским и Южно-Сахалинским, грязевулканами во фронте Центрально-Сахалинского взбросо-надвига западного падения [4], а также по резкому утонению и выклиниванию отложений неогена на широтных профилях МОГТ (рисунок 7).

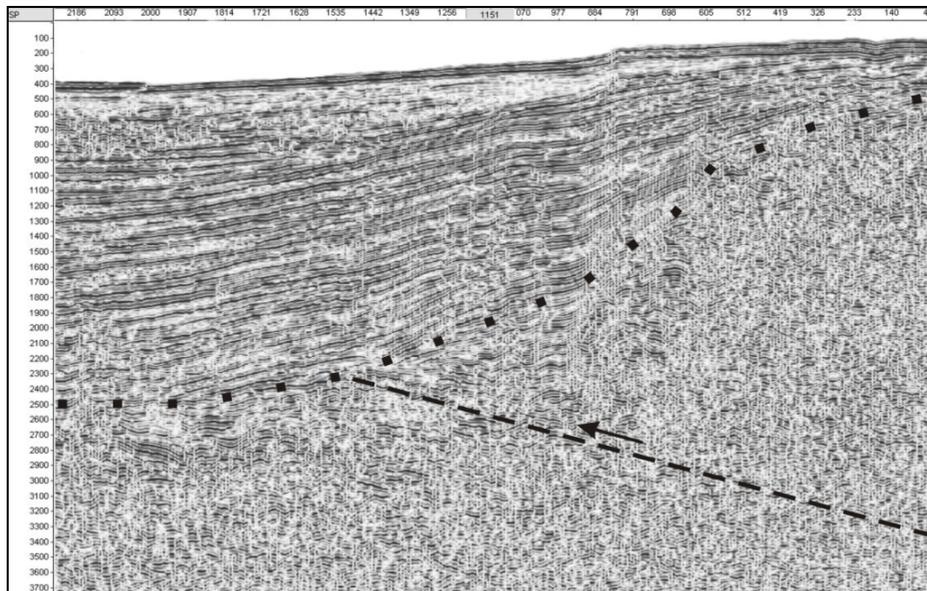


Рисунок 7 – Фрагмент строения зоны выхода фронтального надвига складчатого Сихотэ-Алиня мористее Совгавани (объект 14/86)

Основным объектом для будущих поисковых работ, включая параметрическое и поисковое бурение, на западном борту Северо-Татарского трога вероятно станет погребенный Сюркумский выступ и прилегающие районы палеогенового краевого прогиба складчатого Сихотэ-Алиня (рисунок 5). Ключом, по аналогии с Чайвинской АТЗ на шельфе СВ Сахалина, заверенной первой поисковой скважиной [13; 24], может стать



бурение АТЗ на кресте сейсмопрофилей 336 и 313 (рисунок 1). В этой связи в дальнейшем важно оценить мощность осадочного палеогена (нефтегазоматеринский комплекс) и амплитуду фронтального надвига Сихотэ-Алиня (с учетом нефтегазопроявлений на хабаровском побережье [6]), пополнить фонд ловушек УВ, особенно неантиклинального типа, изучить миграцию краевых прогибов Сихотэ-Алиня к востоку в палеогене-неогене, вероятно связанную с коровыми гравитационными срывами, описанными недавно в [10; 11; 18].

Заключение. Переинтерпретация профилей МОВ-ОГТ по западному борту Северо-Татарского трога (Японское море) позволила выявить различные (АТЗ, структуры прорыва флюидов, газовые окна и столбы) признаки газо- и возможно нефтеносности осадочных толщ неогена (зона регионального выклинивания) и палеогена (погребенный краевой прогиб или палеожелоб складчатого Сихотэ-Алиня), а также субвертикальную миграцию газа из отложений палеогена. Закартирована область, перспективная на УВ, протяженностью более 220 и шириной 50 км и ограниченная с запада фронтальным, вероятно преднеогеновым, надвигом Сихотэ-Алиня. Крупнейшей структурой здесь является Сюркумская погребенная прибрежная газовая банка площадью 1600 км².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березкин, В.М. Применение геофизических методов для прямых поисков месторождений нефти и газа / В.М. Березкин [и др.] – М. : Недра, 1978. – 223 с.
2. Варнавский, В.Г. О перспективах нефтегазоносности приматерикового шельфа Татарского пролива / В.Г. Варнавский // Тихоокеан. геология. – 1994. – № 3. – С. 33–44.
3. Варнавский, В.Г. Литолого-петрофизические критерии нефтегазоносности / В.Г. Варнавский [и др.]. – М. : Наука, 1990. – 270 с.
4. Веселов, О.В. Особенности строения верхнемелового комплекса Пугачевского грязевого вулкана по геофизическим данным / О.В. Веселов [и др.] // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. – Т. 1. – С. 145–156.
5. Галаган, Е.А. Решение литологических задач сейсмическими методами разведки / Е.А. Галаган [и др.]. – М. : Недра, 1979. – 224 с.
6. Жаров, А.Э. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива / А.Э. Жаров [и др.]. – Владивосток : ДВО РАН, 2004. – 220 с.
7. Жильцов, А.М. Зоны газонасыщения в верхней части осадочного чехла – прямой признак наличия углеводородных залежей на глубине / А.М. Жильцов // Строение земной коры и перспективы нефтегазоносности в регионах Северо-Западной окраины Тихого океана. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2000. – Т. 1. – С. 76–92.
8. Казанцев, Ю.В. Загадки грязевых вулканов / Ю.В. Казанцев, Т.Т. Казанцева // Наука в России. – 2004. – № 5. – С. 34–42.
9. Ломтев, В.Л. К тектонике и истории Северо-Татарского трога / В.Л. Ломтев // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Мат-лы ХLI Тектонического совещания. – М. : ГЕОС, 2008. – Т. 1. – С. 512–516.
10. Ломтев, В.Л. Новые данные по тектонике и магматизму СЗ Пацифики / В.Л. Ломтев // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2008. – № 4. – С. 93–105.
11. Ломтев, В.Л. К структурно-геоморфологической характеристике дна Охотского моря / В.Л. Ломтев // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2009. – № 4. – С. 69–80.



12. Ломтев, В.Л. Признаки газоносности чехла котловины Тускарора (СЗ Пацифика) / В.Л. Ломтев // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и связанные с ними парагенезы. – М. : ГЕОС, 2008. – С. 285–288.
13. Ломтев, В.Л. Возможности метода непрерывного сейсмического профилирования (НСП) при нефтегазопроисловых исследованиях / В.Л. Ломтев [и др.] // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2004. – Т. 1. – С. 107–119.
14. Ломтев, В.Л. Геолого-геофизическое обоснование на бурение Сюркумской параметрической скважины №1 / В.Л. Ломтев [и др.]. – Южно-Сахалинск: ДМНГ, 1987. – 6 с.
15. Ломтев, В.Л. Геологическое строение, история геологического развития в неогене и направление нефтепоисковых работ в северной части Татарского пролива / В.Л. Ломтев [и др.] // Геология и стратиграфия кайнозойских отложений Северо-Западной Пацифики. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. – С. 63–69.
16. Ломтев, В.Л. К строению и газоносности западного борта Татарского трога (Японское море) / В.Л. Ломтев [и др.] // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Пятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Мат-лы. – Екатеринбург : ИГф УрО РАН, 2009. – С. 295–300.
17. Ломтев, В.Л. К строению Татарского трога (Японское море) / В.Л. Ломтев [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2010. – № 3. – С. 65–75.
18. Ломтев, В.Л. Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина / В.Л. Ломтев [и др.] // Вестник ДВО РАН. – 2007. – № 4. – С. 64–71.
19. Медовский, И.Г. О природе «слепых» зон при сейсморазведке в прибрежных районах Каспийского моря / И.Г. Медовский, К.А. Мустафаев // Геофизическая разведка на нефть и газ. – М., 1959. – С. 31–37.
20. Словарь по геологии нефти и газа. – Л. : Недра, 1988. – 679 с.
21. Тронов, Ю.А. Северо-Татарский нефтегазоносный бассейн / Ю.А. Тронов [и др.] // Тихоокеан. геология. – 1987. – № 6. – С. 45–49.
22. Френд, Р. Рифтовые долины / Р. Френд // Система рифтов Земли. – М. : Мир, 1970. – С. 209–219.
23. Хведчук, И.И. Современный структурный план и геологическое строение дна Татарского пролива / И.И. Хведчук [и др.] // Рельеф и структура осадочного чехла акваториальной части Дальнего Востока. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1981. – С. 70–80.
24. Хведчук, И.И. Прогнозирование нефтегазоносности на акваториях / И.И. Хведчук [и др.] – М. : Недра, 1988. – 168 с.
25. Чуйко, Л.С. Комплексные рекогносцировочные геофизические исследования в Охотском море (объект 11/86) / Л.С. Чуйко [и др.] – Южно-Сахалинск : ДМНГ, 1988. – 284 с.

V.L. Lomtev. The New in the Structure and Gas Presence of Western Side of North-Tatarsky Trough (Sea of Japan)

New peculiarities of western side structure of North-Tatarsky trough (Sea of Japan) are considered from reinterpretation results of CDP data. Among them are: 1) speed, “field” type anomalies, 2) fluid break structures, similar to mud volcanoes, 3) gas windows and columns as zones of break or visible weakening of reflector intensity in Paleogene and Neogene deposits. These signs of gas- and possibly oil presence of sedimentary section have been known in the world oil-gas seismic records for more than 50 years. They allow us to suppose, that under Neogene sedimentary wedge lie Paleogene sedimentary deposits of thick more than 3–4 km, performed the buried marginal trough of fold Sikhote-Alin.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 05.10.2011 г.



УДК 550.834 (265.5)

В.Л. Ломтев

ПРИЗНАКИ ПАЦИФИДЫ И ТЕТИСА НА ЛОЖЕ СЗ ПАЦИФИКИ

По результатам геологической интерпретации данных сейсмоки и глубоководного бурения на ложе прикурильской части СЗ Пацифики (краевой вал Зенкевича и смежная котловина Гускарора) описаны признаки карбонатного шельфового (платформенного) бассейна позднего эпиконтинентального Тетиса (поздняя юра – ранний мел) и обширной материковой палеосуши Пацифиды (поздний мел – палеоген). В позднем кайнозое они были затоплены водами молодой Пацифики и погребены под фанам каньонов смежной континентальной окраины и Камчатским контурным мегафаном, проградировавшими к Ю-ЮВ до заложения Курило-Камчатского желоба в среднем плейстоцене.

Введение

Строение ложа Тихого океана (Великий океан по Ф. Магеллану, Пацифика у биостратиграфов) и его северо-западной части изучается в основном после Международного геофизического года, т.е. последние 55 лет. Ему предшествовала эпоха лотового и эхолотного промеров с редким грунтоотбором, особенно в период изысканий трасс трансокеанских телеграфных кабелей [28]. Основными методами стали ГСЗ и КМПВ (глубинное сейсмическое зондирование и корреляционный метод преломленных волн), одноканальное непрерывное сейсмопрофилирование на отраженных волнах (НСП МОВ), а в последние десятилетия и его многоканальные модифиции (метод общей глубинной точки МОВ-ОГТ или МОГТ), гравимагнитная, набортная и спутниковая, съемки, драгирование и глубоководное бурение, гидролокация бокового обзора, существенно расширившая возможности картирования рельефа дна.

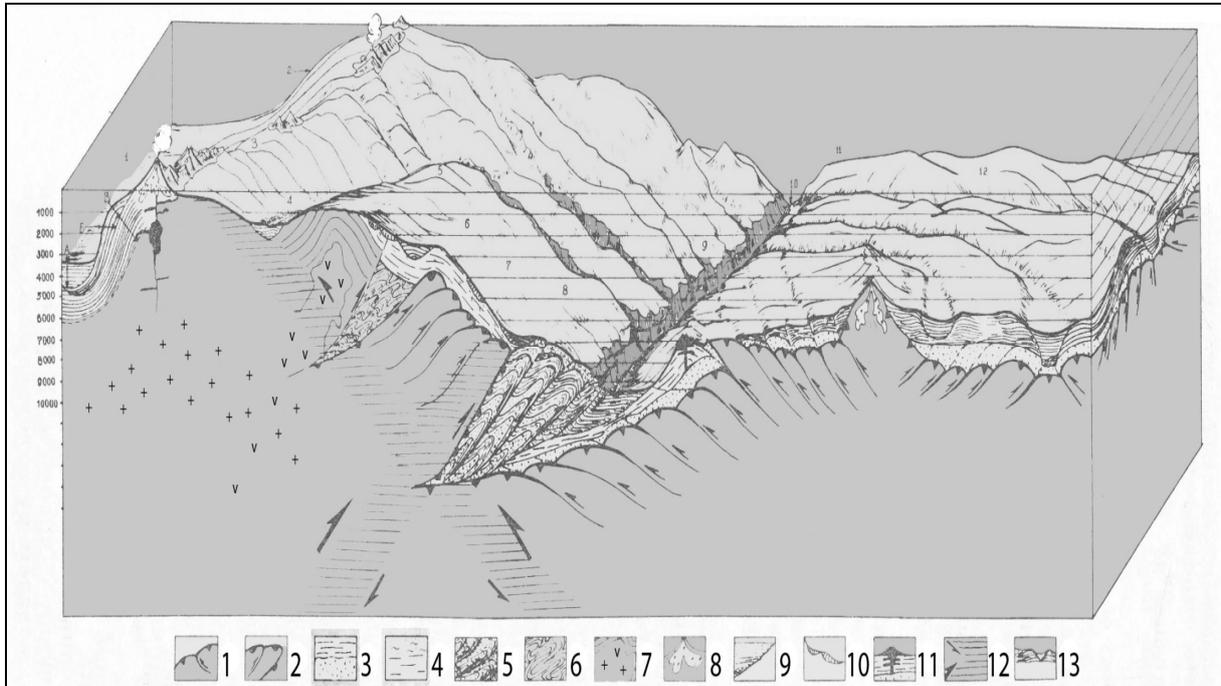
Основные результаты геолого-геофизических исследований строения ложа СЗ Пацифики или т.н. СЗ плиты общеизвестны, включая буровые отчеты по рейсам «Гломара Челленджера» и «Джоидес Резольюшен» [1; 4–20; 22–24; 27; 31; 32; 35]. Среди них выделим юрско-меловой, а не рифейский (Ю.М. Пушаровский) или палеозойский (Г. Штилле) возраст Пацифики, ее изначальную глубоководность (5–6 км по Б. Хизену) как Великого (Ф. Магеллан) океана или, напротив, мелководность в позднем мезозое – раннем кайнозое по Е.М. Рудичу [1; 19], осадочно-трапповое строение ложа, линейные магнитные аномалии и зоны спокойного поля. Вместе с тем исследователи почти не использовали профили МОВ, особенно высокочастотного (120–150 Гц) с видимой расчлененностью кайнозойского чехла, позволяющей их сеймостратиграфическую интерпретацию с оценкой палеогеографии и обстановок осадконакопления (рисунки 1–6).

Главным критерием последних до сих пор остается высокоподвижная в воде и воздухе морская микрофауна, а не грубозернистые береговые и/или субаэральные (палеопочвы, лессы, траппы) фации, вскрытые в сотнях скважин и не содержащих обильную морскую микро- и/или макрофауну *in situ* хорошей сохранности [11]. Не замечены ряд других особенностей керна сотен скважин (см. ниже [19]), как и давние выводы Г.У Линдберга и других ихтиологов о родстве пресноводной ихтиофауны крупнейших рек востока Азии и островов Западной Пацифики, включая Гавайи [3 и др.].

Ниже кратко суммированы итоги сеймостратиграфической интерпретации данных МОВ ИМГиГ и бурения по прикурильской части ложа СЗ Пацифики (рисунки 1–6; [4; 6–12]). В строении коры здесь выделяются 5 геофизических слоев. Слой 1 составляют осадки кайнозоя с немой горизонт С (пестрые лессы палеогена) мощностью до 20–



100 м и залегающая выше с региональными, угловым и азимутальным, несогласиями и вероятно размывом контрастная гемитерригенная, по востоку региона – более монотонная гемипелагическая толща **D** (рисунки 2, 3А, 4В). Ее мощность достигает 0,6–0,7 км на краевом вале (в грабенах до 1 км) и менее 0,1–0,2 км восточнее в котловине Тускарора (рисунки 3А, 4В).



1,2 – кровля мелового акустического фундамента внешнего борта и средней части континентального склона (шарьяж Пегаса); 3 – кайнозойский океанический чехол с лессами Пацифиды внизу и гемитерригенными осадками (фаны) выше; 4 – терригенные и гемитерригенные кайнозойские отложения континентального склона; 5 – аккреционная призма; 6 – древняя аккреционная призма миоценового? желоба (верхняя терраса); 7 – миоценовый? шарьяж внешней дуги, сложенной осадочно-вулканогенными толщами мезозоя и палеозойскими гранитоидами, прорванными молодой Курильской мегадойкой [9]; 8 – разновозрастные вулканы; 9 – угловое несогласие в подошве турбидитного комплекса желоба; 10 – оползни; 11 – грязевулкан; 12 – зоны Беньофа и Тараканова; 13 – абиссальные долины, обвалованные намывными дамбами. Цифрами на модели обозначены: 1 – дно тыловой Курильской батиальной котловины; 2, 3 – охотский склон и вершина внутренней вулканической дуги, 4 – Срединно-Курильский прогиб, 5 – вершина внешней дуги, 6–9 – тихоокеанский континентальный склон Курильской островной дуги: 6 – верхняя часть склона и верхняя глубоководная терраса (ступень), 7 – средняя часть склона, 8 – нижняя глубоководная терраса (ступень), 9–11 – нижняя часть или внутренний склон, тальвег и внешний склон Курильского желоба, 12 – краевой вал Зенкевича (Хоккайдо). Буквами обозначены: А – молодой комплекс выполнения Курильской батиальной котловины, Б – комплекс выполнения тылового палеожелоба; В – древний комплекс выполнения котловины ([7] с упрощениями).

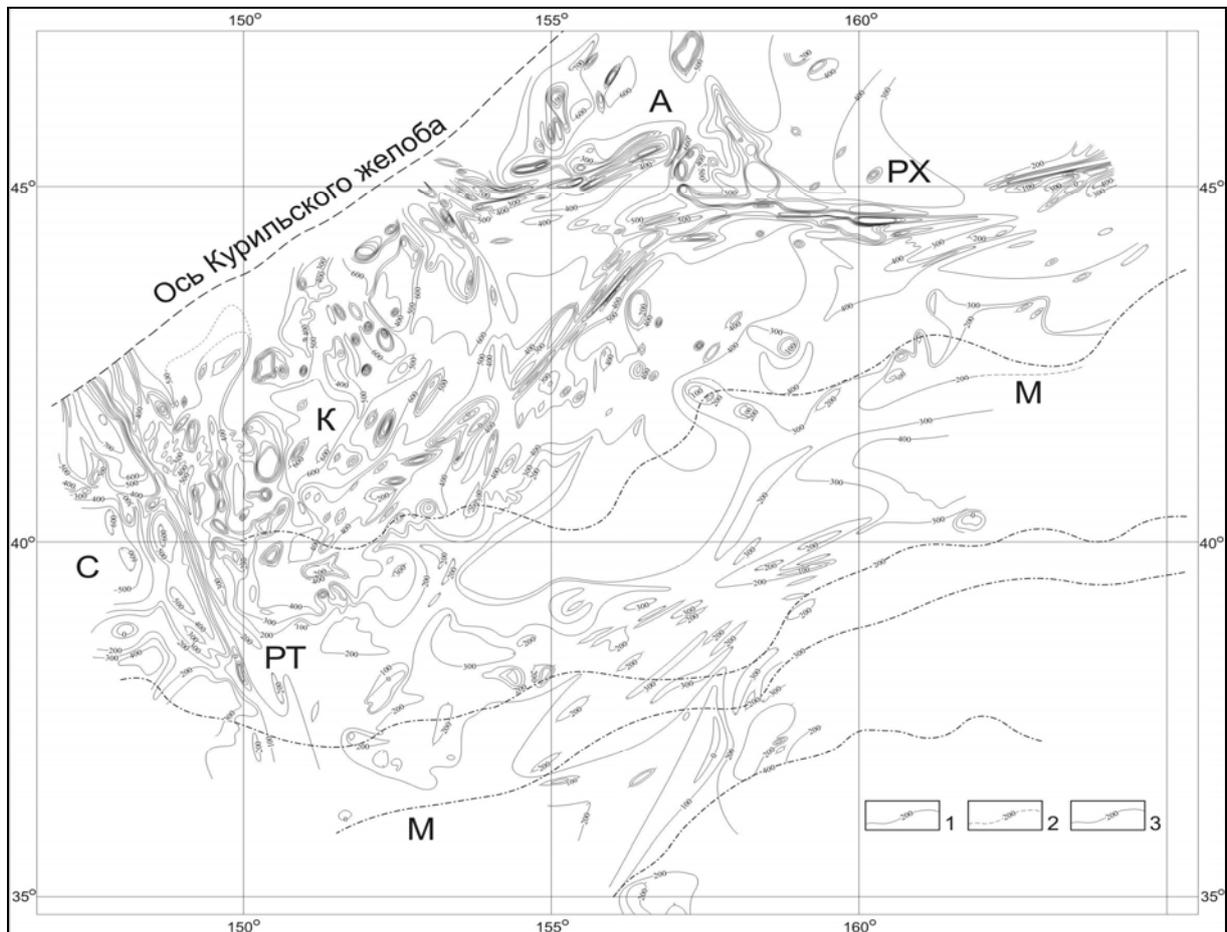
Рисунок 1 – Модель Курильского желоба, составленная автором по данным [2; 10; 22] (чертила Т.В. Чайка ОАО «Дальморнефтегеофизика»)

Гемитерригенную толщу слагают в основном турбидиты слившихся фанов или конусов выноса каньонов Японо-Курило-Камчатской окраины (миоцен-ранний плейстоцен), формирующие ее внешнее аккумулятивное подножье, гемипелагическую толщу – контуристы Камчатского мегафана в котловине Тускарора, севере поднятия



Шатского и котловины Картографов [12; 23]. Верхи осадочно-траппового слоя 2, вскрытые бурением, слагают контрастный опаковый горизонт (толща **В**) пестрых кремней и глин (уплотненные лессы?) позднемелового возраста мощностью до 250–300 м.

Под ними залегают акустически прозрачные шельфовые карбонаты поздней юры-раннего мела (толща **А**), отлагавшихся в платформенных бассейнах позднего эпиконтинентального Тетиса [11; 15; 16]. Их надбазальтовая мощность возрастает от 0 у восточного края вала Зенкевича до 300–400 м в районе южного блока поднятия Шатского, фиксируя палеоберег и батицентр бассейна соответственно (рисунок 2). Местами карбонаты переслаиваются с финальными траппами мезозойской трапповой формации (провинции [3]), поэтому их мощность может возрасти до 1 км (вмещающий комплекс). Высокоскоростные, по данным ГСЗ и КМПВ [18; 20; 24] низы слоя 2 и слой 3 (главный лавовый плащ трапповой провинции) мощностью 2–3 км сложены в основном мезозойскими траппами. На профиле МОГТ 1 они толстослоистые (~300 м) в отличие от слоя 4 мощностью до 3,0–3,5 км с чешуйчатыми надвигами СЗ падения, складками и деколlementом (поверхность срыва) в основании [15; 17].



Буквами обозначены: А – фан Авачинского каньона, К – фан вероятно слившихся среднекурильских каньонов Буссоль, Дианы и Крузенштерна, С – фан Сангарского каньона, М – Камчатский мегафан; РТ, РХ – разломы Тускарора и Хоккайдо

Рисунок 2 – Карта изопакит осадочного кайнозоя (1, 2 - предполагаемые) и надбазальтового позднего мезозоя (3) в прикурильской части ложа СЗ Пацифики с шагом 100 м [12]



Последние фиксируют аллохтонное залегание океанической коры (слои 1–4), обусловленное пластовым гравитационным срывом (сползанием) по кровле слоя 5 к юго-востоку от краевого вала и поднятий разлома Хоккайдо в позднем кайнозое [4; 17]. Столь заметные различия в сейсмо- и тектоностратиграфии слоев 2, 3 и 4 позволяют предполагать в составе последнего первично морские толщи раннего (палеозой-рифей?) эпиконтинентального Тетиса, частью метаморфизованные и гранитизированные при срыве. Слой 5 мощностью более 20 км с субгоризонтально расслоенным осадочно-трапповым разрезом (древний платформенный чехол?) освещен профилем МОГТ 1 на 4–5 км и является автохтоном для молодой аллохтонной СЗ плиты Пацифики [4; 15; 17].

Пацифида

Крупнейший мезокайнозойский, но вероятно с более длительной историей развития, уходящий в докембрий, материк или континентальная платформа между Восточно-Тихоокеанским поднятием и Восточной Азией. В его центральной части давно предполагались гипотетическая Лемурия и континентальные мосты миграции субаэральной фауны и флоры [6; 11; 25]. В исследуемом регионе он имеет утолщенную, вероятно континентальную, кору, поскольку в позднем докембрии-палеозое сюда сносилась галька ортокварцитов, характерных для складчатого фундамента континентальных платформ (22 изученных обнажения на тихоокеанском побережье Японских островов [29]).

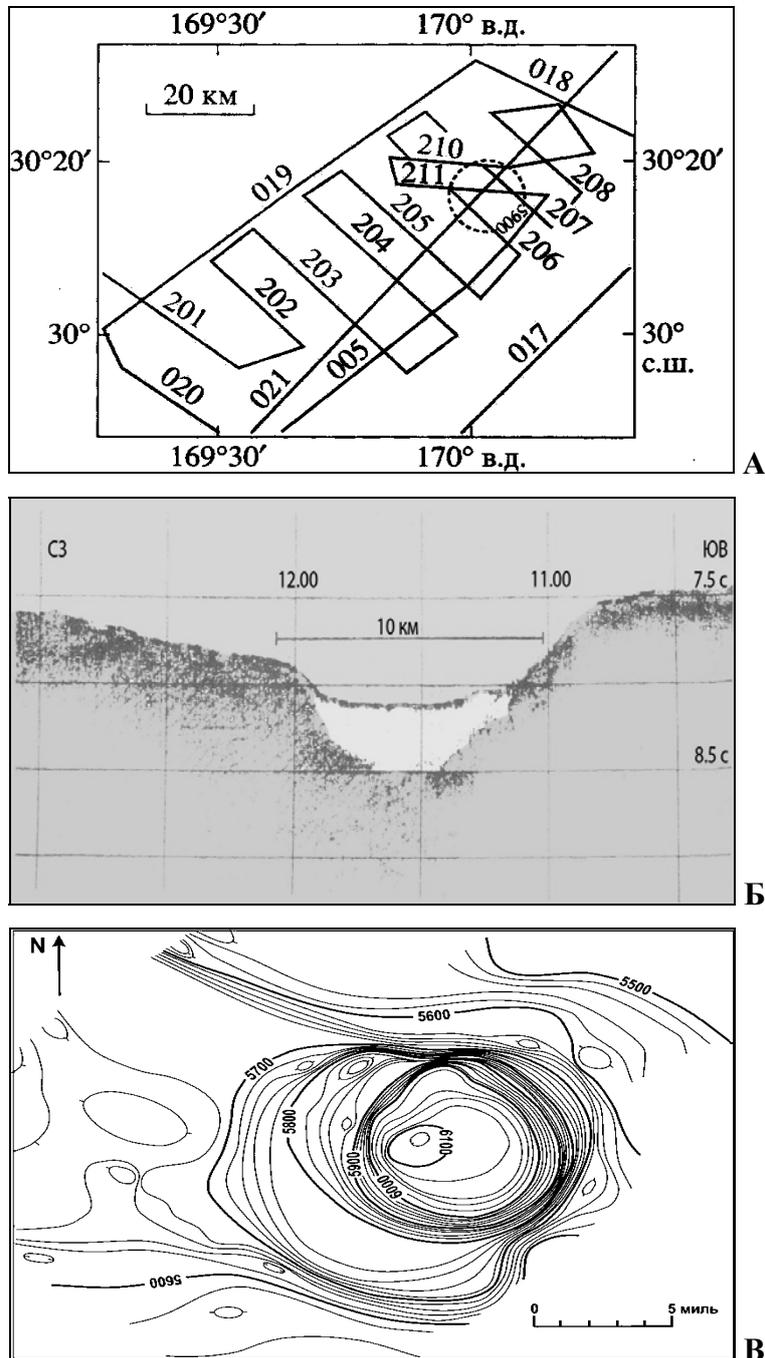
На краевом вале и смежной котловине Тускарора ее подошву на кресте профилей ГСЗ в [35] можно предполагать на глубине 33 км, где скорость распространения продольных волн стабильно выше 8 км/с – порогового значения для границы М [16]. В отличие от подошвы тонкой (5–10 км) океанической коры, преломленные волны на которой имеют слабую интенсивность даже на расстояниях от источника взрыва 30–40 км и массе зарядов 800–1000 кг, предполагаемая и более глубинная граница (М) проявляет себя как интенсивное критическое отражение на расстояниях от источника 250–500 км и массе зарядов взрывчатки всего 20 кг. К южному блоку поднятия Шатского она полого погружается до глубины 36 км [30].

Надежным признаком палеосуши Пацифиды являются обширные абразионные плато (пенеплен [6]) на вершине вала Зенкевича (рисунок 4А,В) и поднятиях зоны разлома Хоккайдо [12; 15; 16]. Бенчи выработаны, вероятно, в кровельных мезозойских траппах. Местами их поверхность местами настолько отшлифована, что приводит к появлению водных эхо (рисунок 4В). В котловине Тускарора бенчи существенно меньше и располагаются в сводах складок и выступов опакового слоя (рисунок 4Б).

Важным признаком обширной палеосуши являются пестрые (желто-коричневые до шоколадного в скважинах [19; 31; 32]) немые лессы (алевропелиты) маломощного горизонта С. Более 150 лет описывались как типичные фации ложа океана (по Ч. Дарвину). Однако по данным бурения сотен скважин они оказались немymi (абиогенными), без морской микро- и макрофауны, что в соответствии с генетической классификацией осадочных отложений позволяет считать их континентальными (субаэральными) [6; 8; 11]. Они нередко содержат прослои разноцветных вулканических пеплов (наземные пеплопады), карбонатные и марганцевые конкреции (но без железо-марганцевых конкреций, характерных для дна океана) и имеют низкую скорость аккумуляции (1–2 м/млн. лет), определенную с помощью магнитостратиграфии (шкала инверсий магнитного поля [31]). Последний метод также показал, что изученные лессы залегают в соответствии с законом Стено. В скважинах они иногда переслаиваются с береговыми осадками (скв. 581 у разлома Хоккайдо), что подтверждает их субаэральный, вероятно,



эоловый генезис [6; 8; 11]. Примечательно, что в скв. 436 на краевом валу мористее Японского желоба именно в кровле лессов обнаружено скопление зубов акул [32].

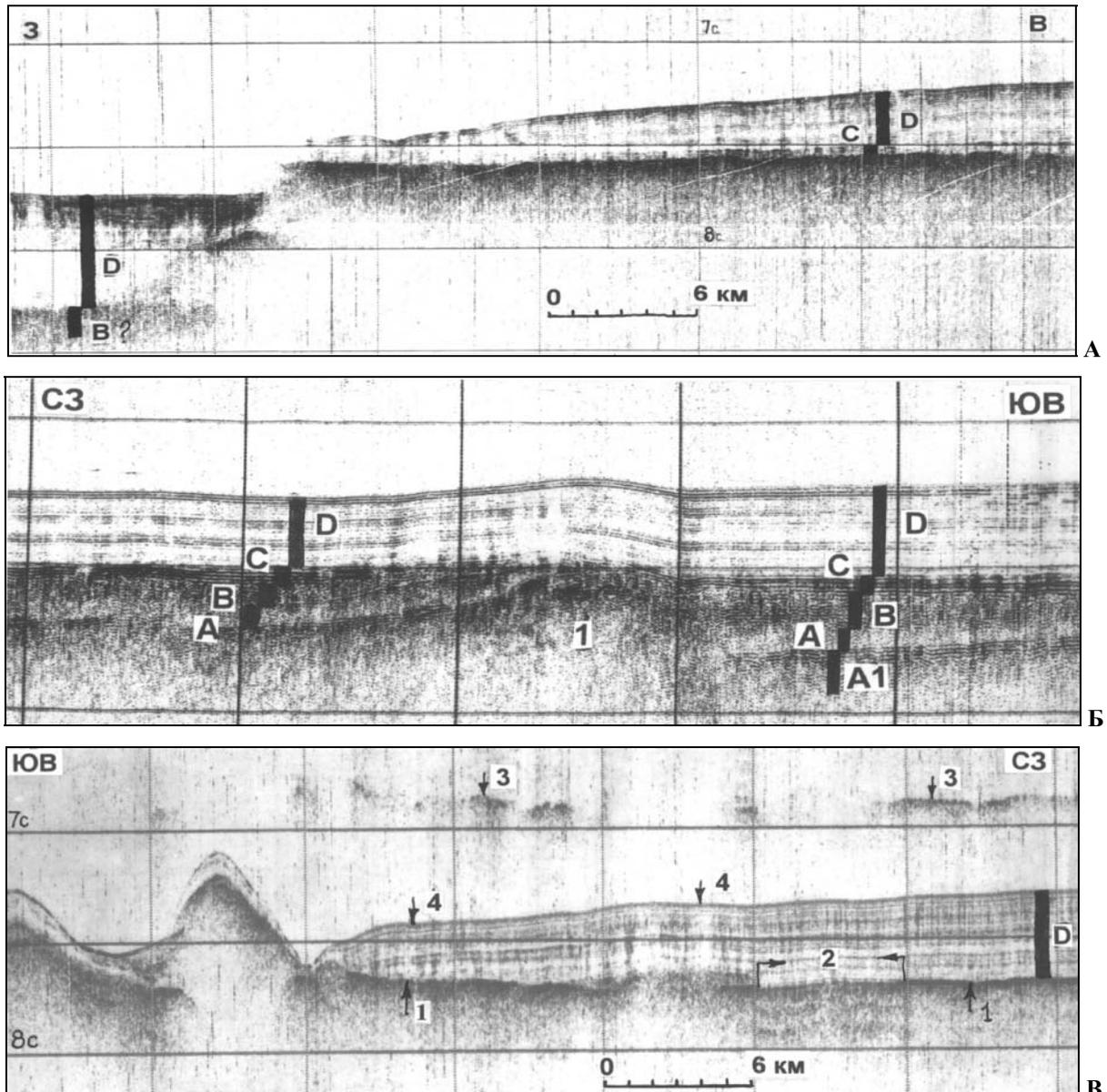


А – лопасть фана Авачинского каньона (1) с двухслойной толщей D1,2, 2 – уступ палеорельефа с долиной, 3 – осевая долина фана; Б – осадочные лопасти фана (дамбы – 1), обтекающие подводную коническую гору (боковое отражение – 2) с моутом (котловина вымывания – 3 [12])

Рисунок 3 – Фрагменты профилей НСП



На профілях НСП горизонт С облекает опакový слой в котловине Тускарора и абради́рованные траппы на вале Зенкевича (рисунок 3Б, 4А,Б), что атипично для морских обстановок осадконакопления. Он имеет переменную контрастность и пластовое строение с небольшими раздувами мощности в палеодолинах [15–17]. Местами лессы полностью или частично размыты (рисунок 4В, 5Б) при затоплении пенеплена водами Пацифики. К югу и востоку от Камчатского мегафана и поднятия Шатского они слагают ложе Пацифики. И здесь в их кровле нередко залегают маломощные (первые метры) переотложенные разности с той же литологией и цветом, но богатые морской микрофауной хорошей сохранности (скв. 576).



А – столовое абразионное плато мезокайнозойского пенеплена близ рифтограбена разлома Хоккайдо (стратиграфия см. текст); Б – асимметричная антиклиналь с абради́рованным (толща В) сводом в котловине Тускарора; В – край Курильского фана с подошвенным прилеганием у восточной окраины вала Зенкевича и водным эхо от абради́рованных кровельных траппов [15; 16]

Рисунок 4 – Фрагменты профилей НСП



Независимым геоморфологическим свидетельством Пацифида несомненно является метеоритный кратер или астроблема ИМГиГ в породах слоя 2, открытая Г.С. Немченко с коллегами в котловине Картографов (рисунок 5А-В [11; 14]). Ее диаметр по изобате 5 700 м достигает 24 км при глубине 400 м. Примерно на 300 м астроблема выполнена прозрачными озерными осадками видимо палеогенового возраста. В скв. 576, что находится в нескольких сотнях километров к северо-западу от нее, Ф.Т. Кит описал шесть метеоритных осколков размером до 2,5 мм в коричневых абиогенных пелагических глинах (лессах) с планетарной иридиевой аномалией, характерной для границы мела и палеогена [33]. Он связал их с метеоритом (скорее астероидом – авт.), упавшим на п-ове Юкатан (Мексика, кратер Чиксулуб) в 9 000 км восточнее, хотя астроблема ИМГиГ находится гораздо ближе, т.к. координаты ее центра составляют $30^{\circ} 15'$ с.ш. и $170^{\circ} 03'$ в.д. В кернах многочисленных скважин бурения, пробуренных на ложе Пацифики, важно обратить внимание на береговые, песчаные и гравийно-галечные осадки местных пород (скв. 581), а также потоковое строение и сильную выветрелость траппов, местами разложенных до коричневой глины (скв. 307) вероятно в субаэральных условиях [1; 11; 19]. Первые надежно фиксируют палеоуровни Тетиса и молодой Пацифики, вторые – наземные обстановки излияния лав в мезозое и теплый палеоклимат Пацифида. Одни из лучших примеров – скв. 462 в котловине Науру и скв. 884 в СЗ Пацифике [11; 19].

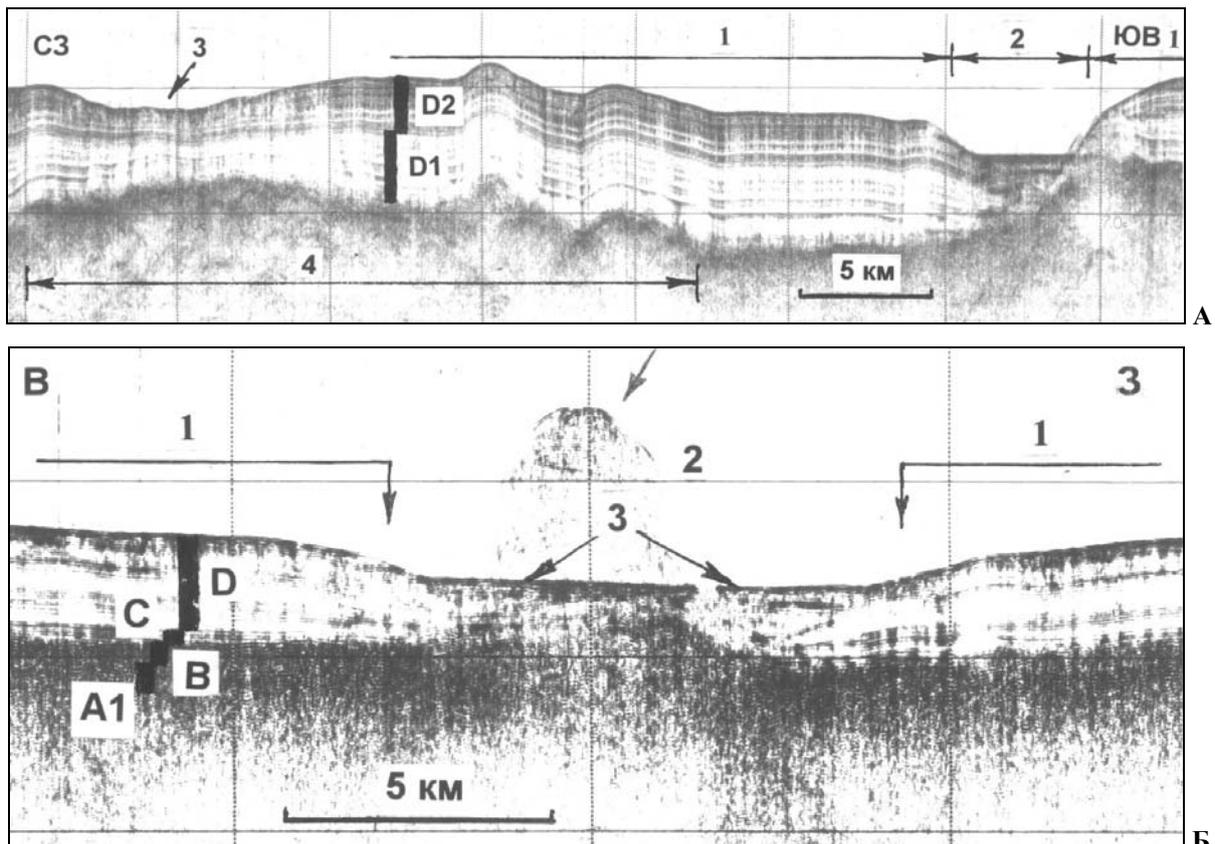


Рисунок 5 а – схема профилей НСП в районе астроблемы ИМГиГ (пунктир) в абиссальной котловине Картографов, СЗ Пацифика [14]; б – батикарта района с сечением изобат 20 м; в – профиль НСП №206 НИС «Морской геофизик»-1991 с вертикальным масштабом в секундах двойного пробега и получасовыми марками времени (положение см. рис 5а)



Тетис. В геологии его считают предшественником современного Мирового океана. В исследуемом регионе он омывал берега Пацифиды. В сотнях скважин, пробуренных в Западной Пацифике и ее окраинных, морях фации Тетиса, вслед за [29] выделены именно под пестрыми субаэральными (покровными) лессами [11]. Хотя до сих пор принято считать, что все, вскрытые скважинами отложения – фации Пацифики [1; 19; 27 и др.].

С учетом результатов сейсмо- и тектоностратиграфической интерпретации профиля МОГТ 1 в исследуемом регионе выделены фации раннего (слой 4) и позднего (слой 2) Тетиса, разделенные эпохой площадного мезозойского (триас? – ранний мел) траппового магматизма преимущественно основного состава [4; 11; 16]. С учетом платформенных условий залегания кремнисто-глинистой (**В**) и карбонатной (**А**) толщ на профилях НСП и геофизических слоев коры на профиле МОГТ 1 с пологим (от 2–5° до ~1°) падением к юго-востоку от восточного края вала Зенкевича приходим к выводу, что бассейны раннего и особенно позднего Тетиса эпиконтинентальные, т.е. мелководные, шельфовые.

Толща **А** на профилях НСП акустически почти прозрачна, что характерно для карбонатных отложений [15]. От поднятия Шатского к валу Зенкевича ее мощность постепенно уменьшается вплоть до выклинивания близ восточного края, что позволяет предполагать здесь древнюю береговую линию Тетиса СВ ориентировки, параллельную видимо изопакитам толщ **А** и **В** (рисунок 2; [6; 16]). Она существовала довольно продолжительное время, поскольку опаковый слой здесь выклинивается (0–50 м) и местами размыт (галечники скв. 581 близ разлома Хоккайдо [19; 31]). Этот вывод поддерживают анализ микро- и особенно макрофауны (гастороподы, мшанки, ежи, иноцерамы), собранной в известняках, писчем меле, наноилах и указывающий на мелководные, шельфовые палеоглубины карбонатного бассейна [6; 19; 32].

В контексте работы важно обратить на местами аномально пестрый, обычно желто-коричневый, цвет карбонатов позднего Тетиса (скв. 576), в том числе в таком удаленном районе как возвышенность Хесса (скв. 310). Поскольку такой же пестрый цвет имеет глинистый матрикс опакового слоя (уплотненные, обычно немые, лессы [19]), то приходим к выводу, что аномальная окраска карбонатов скорее всего вызвана периодическим поступлением пестрых лессов в бассейн водным или воздушным (пыльные бури) путями с прилегающей палеосуши Пацифиды. Иначе говоря бассейн позднего Тетиса временами напоминал Желтое море, цвет которого определяют лессы равнинного Китая, выносимые р. Хуанхэ. Понятно, что в традиционных моделях глубоководной и/или т.н. плитной седиментации объяснить подобную окраску карбонатов поздней юры-раннего мела или их выклинивание у вала Зенкевича не представляется возможным [1; 18; 27 и др.].

В [16] описаны примеры необычной, астратиграфической, с карманами и выступами, шероховатости кровли толщи **А** на профилях НСП, имеющей перепады рельефа высотой сотни метров (см. профили НСП в [6; 15]). Предполагается, что основной причиной формирования такой границы является карст известняков позднего Тетиса в эпоху последующей пенепленизации этого региона продолжительностью около 80 млн. лет [11]. В районе скв. 303 и 304, вскрывших наноилы, карст вероятно дополняет постседиментационное проседание толщи **В** под гидростатическим давлением водных масс молодой Пацифики и совмещение разрезом толщ позднего мезозоя [6].

Опаковый слой на северо-западе ложа Пацифики имеет региональное распространение, исключая район южного блока поднятия Шатского с небольшим, мел-палеогеновым реликтом карбонатного бассейна позднего Тетиса [11; 19]. На профилях



высокочастотного НСП в нем доминируют шероховатые (бугристые) и слоистые сейсмофации, переслаивающиеся и замещающие друг друга по вертикали и латерали, что позволяет предполагать субаэральные (побережье) и прибрежно-морские (лагуны, заливы) обстановки осадконакопления соответственно [6; 15; 16]. Последнее подтверждает и залегание опакового слоя между шельфовыми карбонатами поздней юры-раннего мела и палеогеновыми субаэральными (покровными) лессами Пацифиды, поскольку в соответствии с законом Вальтера-Головкинского он является прибрежной региофацией позднего Тетиса. Независимо это подтверждают резкая обедненность опакового слоя микрофауной (радиолярии) обычно с плохой сохранностью и его глинистого матрикса (пестрые уплотненные лессы [11; 19]).

Геология, особенности и история формирования опакового слоя до настоящего времени изучены довольно слабо [1; 19; 27]. Основные нерешенные проблемы связаны с его обедненностью береговыми осадками, механизмом внутрислойного окремнения осадков в глинистом матриксе, необычно пестрой окраской кремней и их тонкослоистой текстурой, напоминающей варвы, а также процессами объемного окремнения известняков (порцелланиты скв. 305).

Пацифика

Обсуждение признаков Пацифиды и Тетиса важно дополнить хотя кратким описанием строения гемипелагической (гемипелагической по востоку региона) толщи **D** неоген-четвертичного возраста, венчающей видимый разрез на краевом вале (фаны каньонов), котловине Тускарора, севере поднятия Шатского и котловины Картографов (Камчатский контурный мегафан [12]). На вале Зенкевича профили высокочастотного НСП позволили выявить проградационное строение осадочных лопастей фанов каньонов смежной окраины (Авачинский, слившиеся среднекурильские Буссоль, Дианы и Крузенштерна и Сангарский или Накве [34]) с угловым (до $\sim 1,5^0$) несогласием в подошве (рисунок 1–3А, 4А,В). В связи с этим здесь можно предполагать развитие внешнего аккумулятивного подножья Японо-Курило-Камчатской окраины. Судя по рисунку 2 выход осадочных лопастей фанов и их долин с вала в котловину (конечный бассейн стока турбидитов) с обтеканием выступов палеорельефа (горы и уступы с моутами или котловинами вымывания [23]) сопровождался их отворотом вправо возможно из-за влияния силы Кориолиса или придонного контурного течения к югу. С последним связано проградационное строение Камчатского мегафана, питавшегося выносами каньонов Кроноцкого и Камчатского заливов Восточной Камчатки [12; 15].

Рассматриваемая схема седиментогенеза в краевой части СЗ плиты из придонных турбидитных потоков и гемипелагической седиментации в интервалах между ними хорошо изучена на подножьях пассивных континентальных окраин [27 и др.]. Она позволяет объяснить лопастное строение, утонение и выклинивание толщи **D** к юго-востоку от вала Зенкевича и к югу вдоль котловины Тускарора от 0,7 до 0,1 км и менее, но, главное – проградацию фанов по кровле лессового горизонта **C**. Последнее фиксирует кардинальную смену в палеогеографии и обстановках осадконакопления, имевшую место вероятно на рубеже палеогена и неогена и которую надежно фиксирует карта изопахит (толщи **A** и **B**) и кайнозоя (горизонт **C** и толща **D**) на рисунке 2: их конфигурация и тренды изменения в плане принципиально различны [11; 12].

В среднем плейстоцене примерно 0,5–1,0 млн. лет назад в эпоху пасаденской глобальной орогении (по Г. Штилле) заложилась Курило-Камчатский и Японский жлоба, перехватившие придонные турбидитные потоки по каньонам (рисунок 1; [7]). С этого времени проградация фанов на ложе СЗ Пацифики прекратилась (реликтовые



формы) и на смену гемитерригенной пришла гемипелагическая седиментация из нефеллоидных течений и абиссальными бурями. Последние возникают в океане при прохождении атмосферных циклонов [26]. Они возбуждают придонные течения со скоростью более 1 м/с, способные эродировать илистое дно.

Обсуждение результатов

Итак, результаты новой интерпретации данных сейсмоки и бурения по прикурильской части ложа СЗ Пацифики, представленные в настоящей работе, вполне надежно документируют признаки материковой палеосуши Пацифиды в позднем мелу-палеогене и шельфового карбонатного (платформенного) бассейна позднего эпиконтинентального Тетиса в поздней юре-раннем мелу. С его крупной регрессией почти вся исследуемая территория, кроме района южного блока поднятия Шатского, примерно на 80 млн. лет стала лессовой равниной. Сходное строение и геологическая история намечаются и в соседней Восточно-Марианской котловине на профиле НСП ИМГиГ 114–118 между поднятием Шатского и Магеллановыми горами (рисунок 6; [5; 16]). Здесь позднемеловой опаковый слой с шероховатыми сейсмофациями прибрежной равнины Пацифиды переходит к югу в шельфовый платформенный бассейн позднего Тетиса с пологими ($\sim 1^\circ$) клиноформами наращивания: контрастными прослоями терригенных и/или частью кремнелых пород в прозрачном или полупрозрачном карбонатном матриксе. На ложе Пацифики это пока единственный надежный пример аккумулятивного палеоберега Пацифиды и/или Тетиса, заверяющий результаты сейсмостратиграфического анализа данных МОВ и бурения по прикурильской части СЗ Пацифики (см. выше).

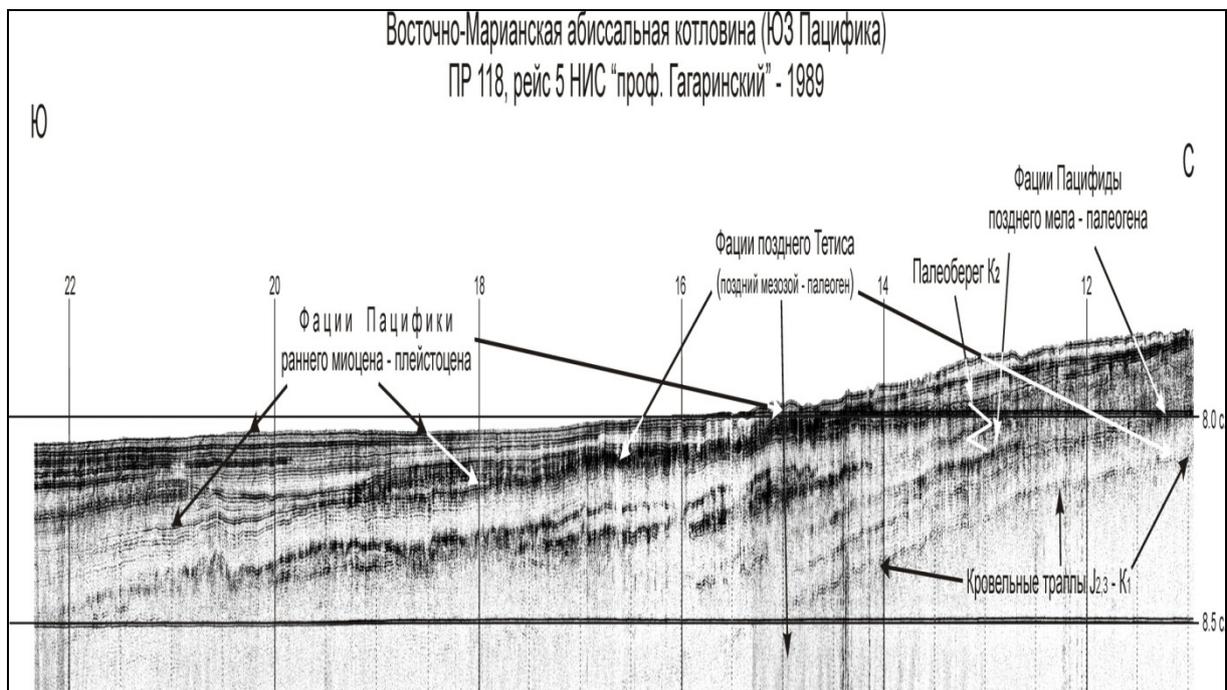


Рисунок 6 – Фрагмент профиля НСП 118 в Восточно-Марианской котловине с переходом суша-море в опаковом слое близ пикета 13 час. (координаты $12^\circ 36,12$ с.ш., $155^\circ 22,04$ в.д.[5])

Подытоживая, выделим проблемы новой геологической (сейсмостратиграфической) интерпретации данных МОВ и бурения по ложу Пацифики с корректировкой существующих представлений, и палеогеографии океанических бассейнов позднего Тетиса, вмещавших до инверсии водные массы, затопившие Пацифиду.



Заклучение

Итак, интерпретация данных МОВ и бурения по прикурильской части ложа СЗ Пацифики свидетельствует, что в поздней юре-раннем мелу здесь располагался шельфовый карбонатный бассейн позднего эпиконтинентального Тетиса с обширными абразионными плато (палеосуша Пацифиды) в районе краевого вала Зенкевича и поднятий зоны разлома Хоккайдом. В позднем мелу-палеогене в результате крупной регрессии Тетиса, отступившего к району южного блока поднятия Шатского, здесь наступила эпоха пенепленизации продолжительностью примерно 80 млн. лет, когда формировались обширные лессовые равнины Пацифиды. Однако на рубеже палеогена и неогена после инверсии океанических бассейнов Тетиса они были затоплены и погребены под фанатами каньонов Японо-Курило-Камчатской окраины (краевой вал) и Камчатским мегафаном в котловине Тускарора (фации Пацифики).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, Б.И. Геологическое строение и происхождение Тихого океана / Б.И. Васильев – Владивосток : Дальнаука, 2009. – 560 с.
2. Геолого-геофизический атлас Курильской островной системы – Л.: ВСЕГЕИ, 1987. – 36 с.
3. Линдберг, Г.У. Крупные колебания уровня океана в четвертичный период / Г.У. Линдберг – Л. : Недра, 1972. – 548 с.
4. Ломтев, В.Л. К строению ложа Северо-Западной Пацифики / В.Л. Ломтев // Уральский геофизический вестник. – 2010. – № 1(16). – С. 21–32.
5. Ломтев, В.Л. К строению ложа Магеллановых гор (ЮЗ Пацифика) / В.Л. Ломтев // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2009. – № 4. – С. 40–52.
6. Ломтев, В.Л. Мезокайнозойский пенеплен в Северо-Западной Пацифике / В.Л. Ломтев // Строение земной коры и перспективы нефтегазоносности в регионах Северо-Западной окраины Тихого океана. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2000. – Т. 1. С. 38–53.
7. Ломтев, В.Л. Методы датирования глубоководных желобов / В.Л. Ломтев // Геология Тихого океана и зоны перехода к Азиатскому континенту. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. – С.105–111.
8. Ломтев, В.Л. Признаки Пацифиды и Тетиса в разрезах Западной Пацифики / В.Л. Ломтев // Геология морей и океанов : Тезисы докладов XVI Международной научной школы по морской геологии – М. : ГЕОС, 2005. – Т. II. – С. 155–156.
9. Ломтев, В.Л. Сейсмическое исследование ИМГиГ ДВО РАН в Северо-Западной Пацифике (1980–2005 гг.) / В.Л. Ломтев, В.Н. Патрикеев // Вестник ДВО РАН. – 2006. – № 1. – С. 59–66.
10. Ломтев, В.Л. Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах / В.Л. Ломтев, В.Н. Патрикеев – Владивосток : ДВНИЦ АН СССР, 1985. – 141 с.
11. Ломтев, В.Л. Пацифида, Тетис и Пацифика / В.Л. Ломтев и [др.] // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов дальнего Востока России. Доклады межд. науч. симп. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2004. – Т. 1. – С. 131–144.
12. Ломтев, В.Л. Сейсмостратиграфия кайнозойского осадочного чехла Северо-Западной плиты Тихого океана / В.Л. Ломтев [и др.] // Структура и вещественный со-



став осадочного чехла Северо-Запада Тихого океана – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 21–41.

13. Макаренко, Г.Ф. Вулканические моря Земли и Луны / Г.Ф. Макаренко – М. : Недра, 1983. – 142 с.

14. Немченко, Г.С. Некоторые проблемы депрессии центральной части плиты Картографов / Г.С. Немченко [и др.] // Структура и вещественный состав осадочного чехла Северо-Запада Тихого океана. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 70–77.

15. Патрикеев, В.Н. Атлас сейсмических разрезов Северо-Западной плиты Тихого океана / В.Н. Патрикеев – М. : ГЕОС, 2009. – 207 с.

16. Патрикеев, В.Н. Сейсмостратиграфия мезозойского осадочного чехла Северо-Западной плиты Тихого океана / В.Н. Патрикеев [и др.] // Структура и вещественный состав осадочного чехла Северо-Запада Тихого океана. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 5–20.

17. Патрикеев, В.Н. Сейсмостратиграфия Северо-Западной плиты Тихого океана на профиле МОГТ / В.Н. Патрикеев, В.Л. Ломтев // Структура и вещественный состав осадочного чехла Северо-Запада Тихого океана. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 42–64.

18. Пишон, Ле К. Тектоника плит / Ле К. Пишон [и др.] – М. : Мир, 1977. – 288 с.

19. Рудич, Е.М. Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы / Е.М. Рудич – М. : Недра, 1984. – 251 с.

20. Строение дна северо-запада Тихого океана (геофизика, магматизм, тектоника) – М. : Наука, 1984. – 232 с.

21. Тектоника и углеводородный потенциал Охотского моря. – Владивосток : ДВО РАН, 2004. – 160 с.

22. Тектоника Курило-Камчатского глубоководного желоба. – М. : Наука, 1980. – 179 с.

23. Тектоника плиты Картографов. – М. : Наука, 1988. – 88 с.

24. Тектоника северо-западной части Тихого океана. – М. : Наука, 1983. – 118 с.

25. Толковый словарь английских геологических терминов. – М. : Мир, 1978. – Т. 1. – 588 с.

26. Холлистер, Ч.Д. Непokoйные глубины / Ч.Д. Холлистер [и др.] // В мире науки. – 1984. – № 5. – С. 4–16.

27. Хосино М. Морская геология / М. Хосино – М. : Недра, 1986. – 432 с.

28. Belknap G. Deep-sea soundings in the North Pacific Ocean USS Tuscarora / G. Belknap // Hydrogr. Offic. Bulletin – 1874. – Vol. 54. – 51 p.

29. Choi, D.R. Continental crust under the NW Pacific Basin / D.R. Choi // Journal of Petroleum Geology. – 1987. – Vol. 10, № 4. – P. 425–440.

30. Gettrust, J.F. Crustal structure of the Shatsky rise from refraction measurements / J.F. Gettrust [et al.] // Journal of Geophysical Researches. – 1980. – Vol. B85. – P. 5411–5415.

31. Initial Core Descriptors – La Jolla, California, 1982. – Leg 86. – 112 p.

32. Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project. – Washington : U.S. Govern. Printing Office, 1980. – Vol. 56,57. Pt. 1. – 629 p.

33. Kyte, F.T. A meteorite from the Cretaceous/Tertiary boundary / F.T. Kyte // Nature. – 1998. – Vol. 396, № 6708. – P. 237–239.

34. Mammerickx, J. A deep-sea channel in the Northwest Pacific Basin / J. Mammerickx // Marine Geology. – 1980. – Vol. 34. – P. 207–218.



35. Naguno, S. Report on DELP 1986 Cruise in the Northwestern Pacific. Part III: Seismic structure revealed by explosion experiments / S. Naguno [et al.] // Bulletin of Earthquake Institute of University Tokyo. – 1990. – Vol. 65, part I. – P. 105–133.

V.L. Lomtev. Pacifida and Tethys Signs on the NW Pacific Abyssal Floor

The signs of carbonate shelf (platform) basin of Late epicontinental Tethys (Late Jurassic-Early Cretaceous) and Pacifida mainland paleoland (Late Cretaceous – Paleogene) are described from geological interpretation of the results of seismic and deep-sea drilling data near Kuril part of NW Pacific abyssal floor (Zenkevich outer rise and adjacent Tuskarora basin). They were submerged by young Pacific waters and buried under canyon fans of adjacent continental margin and Kamchatka contour megafan in the Late Cenozoic, prograded to S-SE before Kuril-Kamchatka trench formation in the Middle Pleistocene.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 05.10.2011 г.



УДК 61:55; 551.242.23

Г.И. Рудько

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ГЕОЛОГИИ КАК НОВОГО НАПРАВЛЕНИЯ В НАУКЕ

Медицинская геология – новое научное направление в геологии, изучающее механизм и динамику взаимодействия геологической среды и человека, результат этого взаимодействия (здоровье и жизнь человека с точки зрения влияния на него геологических процессов), а также обратные связи (техногенное воздействие человека на геологическую и смежную среду). Здоровье человека – это его нормальное физическое состояние и оптимальные психоэмоциональные факторы и зависит от масштабов развития природных, техноприродных, техногенных опасных геологических процессов эндогенного и экзогенного генезиса.

Введение

Геологическая среда является минеральной основой биосферы (все ландшафтно–геохимические комплексы и их трансформация в результате техногенной деятельности), основным поставщиком энергетических ресурсов (добыча различных полезных ископаемых) и литосферным пространством для строительства инженерных сооружений и коммуникаций.

Современный этап развития человечества характеризуется активным вмешательством человека в окружающую среду. Появление новых технологий, производств, улучшение благосостояния населения, повышение комфортности, интенсивное ведение сельского хозяйства связаны с растущим использованием химических соединений, физических и биотических факторов. По подсчетам специалистов, сегодня в окружающей среде находится 60–70 тысяч разнообразных химических веществ и ежегодно добавляется около тысячи новых. Накопление токсичных и канцерогенных соединений связано с негативными последствиями для всего живого, для стабильности экосистем, является главным фактором, вызывающим многочисленные патологии у человека. Геологическая среда как минеральная основа биосферы во многом определяет характер, масштабы и специализацию влияния на здоровье человека. Итак, геологическая среда может быть либо естественным фоном, либо активным фактором этого влияния, что изучается различными естественными науками [7].

Научное направление на стыке этих наук зарождалось в древности, а в наши дни получило название «медицинская геология». Сегодня она переживает второе рождение. Медицинская геология изучает влияние геологических объектов природного (породы, руды, минералы, продукты эрозии, воды, вулканическая деятельность и др.) и техногенного происхождения (продукты переработки рудного и нерудного минерального сырья, сплавы, строительные материалы и др.), геологических процессов и явлений на здоровье людей и животных, состояние растений. Изучает она и обстоятельства, при которых такое воздействие становится возможным.

Медицинская геология – стратегически значимая, социально ориентированная дисциплина. Изучение обстоятельств и факторов влияния геологических объектов, процессов на здоровье людей позволяет разрабатывать предотвращающие и лечебно-профилактические меры, необходимые для успешного решения текущих и планирования перспективных задач экономики хозяйствования, воплощения в жизнь различных социальных проектов, основой которых являются интересы всех слоев населения. Развитие этого направления возможно только при условии свободного доступа к медицин-



ской и геологической информации любого уровня и обсуждения путей решения социальных, экологических и медицинских проблем.

Один из первых примеров из медицинской геологии привел Марко Поло (1254–1324). В 1271 г. он совершил конную поездку в Китай. Однако через некоторое время лошади, привезенные ним из Европы, погибли. Марко Поло описал симптомы заболевания животных, которое, как выяснилось впоследствии, было обусловлено высоким содержанием селена в почве, что вызвало хроническую интоксикацию и гибель животных [9].

В начале XX века новое заболевание зарегистрировано на северо-востоке Китая в провинции Кешан, которое позже было названо болезнью Кешана (эндемическая кардиомиопатия). Оно заключалось в поражении сердечной мышцы и развитии сердечной недостаточности. В 1960 г. специалисты предположили, что заболевание связано с воздействием окружающей среды, через 10 лет эта гипотеза подтвердилась. Выяснилось, что болезнь встречается в местностях с низкой концентрацией селена в почве и грунтовых водах. В случае компенсации в организме дефицита селена симптомы заболевания полностью исчезали, она также имела профилактическое действие.

Другим примером патологии геомедицинского происхождения является болезнь Кашина-Бека, известная еще древним китайским медикам (эндемический остеоартрит). Заболевание обнаружено в Китае в XVI веке. Впервые его описал русский врач Н. И. Кашин (1825–1872). Начальными симптомами этой патологии были отек и боль в суставах, атрофия мышц. Далее утолщались проксимальные межфаланговые суставы кистей, локтевых и голеностопных суставов при полной сохранности функций или незначительного их ограничения. У тяжелобольных заметно деформировались многие суставы с развитием контрактур, поясничного лордоза и «утиной» походки изза поражения тазобедренных суставов, а также короткопалость и низкорослость. Болезнь поражала в основном детей 6–13 лет [9]. Болезнь Кашина-Бека попадалась исключительно среди сельских жителей, хотя зафиксированы случаи заболевания населения, которое потребляло продукты питания из эндемических районов. Точное количество больных не установлено, однако приблизительно оно оценено в 1–3 млн человек. Причиной патологии было низкое содержание селена в почве.

Следовательно, медицинская геология изучает не только механизм и динамику взаимодействия геологической среды и человека, но и результат этого взаимодействия (здоровье и жизнь человека с точки зрения влияния на него геологических процессов), обратные связи (техногенное воздействие человека на геологическую и смежную среду). Здоровье человека – это его нормальное физическое состояние и оптимальные психоэмоциональные факторы.

Человек и его здоровье. Факторы влияния на здоровье населения

Эволюция обеспечила человеческий организм высокими резервами устойчивости и надежности, которые обусловлены взаимодействием всех систем, целостностью, способностью к адаптации и компенсации во всех звеньях, а также состоянием относительной динамической стабильности.

В результате бурной трудовой деятельности человек на рубеже веков достиг огромных успехов в преобразовании окружающего мира. Однако достижения в области науки, техники, производства в процессе создания комфортных условий жизни привели к возникновению новых видов опасности, деградации резервов организма и здоровья человека.



Вся жизнь человека проходит в непрерывной связи с внешней средой, поэтому его здоровье нельзя рассматривать как нечто независимое, автономное. Оно является результатом действия природных, антропогенных, социальных факторов и отражает динамическое равновесие между организмом и средой его обитания.

Человек на взаимодействие с окружающей средой реагирует индивидуально с помощью физиологических реакций. В силу общих соматических свойств физиологического приспособления организм может адаптироваться или выработать иммунитет к разным внешним факторам. Все люди способны проявлять необходимую пластичность реакций в ответ на изменения внешних условий. Адаптация помогает поддерживать устойчивым внутреннюю среду организма, когда параметры отдельных факторов окружающей среды выходят за пределы оптимальных. Адаптация зависит от силы воздействия факторов окружающей среды и индивидуальной реактивности организма. Критерием степени адаптации является сохранение гомеостаза независимо от продолжительности воздействия фактора, к которому сформировалась адаптация.

Причиной нарушения нормальной жизнедеятельности организма и возникновения патологического процесса могут быть абиотические (свойства неживой природы) факторы окружающей среды. Очевидна связь географического распределения ряда заболеваний, связанных с климатическо-географическими зонами, высотой местности, интенсивностью излучения, перемещением воздушных масс, атмосферным давлением, влажностью воздуха и т.п.

На здоровье человека влияет биотический (свойства живой природы) компонент окружающей среды в виде продуктов метаболизма растений и микроорганизмов, патогенных микроорганизмов (вирусы, бактерии, грибы и др.), ядовитых веществ, насекомых, опасных для человека животных.

Патологические состояния человека могут быть связаны с антропогенными факторами загрязнения окружающей среды: воздух, почва, вода, продукты промышленного производства. Сюда также относится патология, связанная с биологическими загрязнениями от животноводства, производства продуктов микробиологического синтеза (кормовые дрожжи, аминокислоты, ферментные препараты, антибиотики и др.).

Не менее угрожающим для человека является антропогенное загрязнение природной среды. Химическое, радиоактивное, бактериологическое загрязнение воздуха, воды, почвы, продуктов питания, а также шум, вибрация, электромагнитные поля, ионизирующее излучение и т.д. вызывают в организме человека тяжелые патологические явления, глубокие генетические изменения. Это приводит к резкому увеличению заболеваний, преждевременному старению и смерти, рождению неполноценных детей. Вследствие воздействия негативных факторов окружающей среды на организм человека возникают такие заболевания как сердечнососудистые, онкологические, дистрофические изменения, аллергия, сахарный диабет, гормональные дисфункции, нарушения развития плода, поражения наследственного аппарата клетки.

Если организм человека рассматривать как биомеханическую и биохимическую систему, то собственно влияние компонентов геологической среды и обуславливает состояние его здоровья. Здоровье человека и его жизнь зависят также от масштабов развития природных, техноприродных, техногенных опасных геологических процессов эндогенного и экзогенного генезиса.

Условия взаимодействия человека как биологической системы с геологической средой проанализированы в следующих основных направлениях:



- подземная и поверхностная гидросфера, что являются источником воздействия на организм человека при потреблении питьевой воды, вызывают более 80 % болезней;
- ландшафтная сфера, которая является индикатором влияния определенных химических элементов, в том числе относительно функционирования систем почва – растение – организм человека, почва – растение – животное – организм человека и т.д.;
- геофизическая сфера, которая является результатом глобальных, региональных и локальных трансформаций, что определяют для любой территории формирование электромагнитных полей, радиационной обстановки и т.д. и под действием которых человек сейчас находится постоянно.

Издавна некоторые заболевания человека и животных связывали с определенными географическими областями. В китайских медицинских рукописях, написанных за 3000 лет до н.э., указаны аналогичные причины отдельных заболеваний домашнего скота. Гиппократ более 2400 лет назад приводил подобные примеры, связанные с патологией человека. Сегодня именно медицинская геология обобщает и изучает такие факты.

Отдельно выделяют фактор влияния на здоровье человека химического состава питьевой воды, поскольку его организм на 80 % состоит из воды. Ухудшение качества воды вызывает целый ряд болезней, а в некоторых случаях – определяет продолжительность жизни человека, развитие заболеваний. Подсчитано, что в организм человека с водой за 25 лет поступает 109 кг хлора, 25 кг нитратов, 500 г алюминия, 3 кг железа, 1 л бензина, 27 г бора.

С геодинамическими процессами связано формирование геопатогенных, узколинейных зон, которые, пересекаясь между собой, образуют ряд сеток (например, сетку Хартмана). Этот феномен хотя и не исследован полностью, однако имеет под собой реальную основу, что позволяет прогнозировать такие зоны и минимизировать их негативное воздействие на здоровье человека.

Геохимические ландшафты как объект воздействия на здоровье человека

Геохимия ландшафтов изучает механизмы дифференциации геохимического поля геологической среды. Внешние факторы миграции химических элементов систематизированы в таксономической классификации геохимических ландшафтов.

Геохимическое поле ландшафта как сложный результат взаимосвязи всех видов миграции довольно редко отражает закономерности влияния какого-то одного фактора миграции среди большого числа внешних или внутренних. На этом сложном пути очевидное часто не согласуется с теорией, а теория лишь частично подтверждается результатами исследований. В то же время ландшафтно-геохимические принципы пространственной систематизации экосистем являются реальностью, что позволяет отделить известные закономерности геохимической миграции от новых, неисследованных факторов распределения химических элементов на каждой отдельной территории.

Широкий круг современных медицинских и экологических проблем окружающей среды обусловленный геохимическим состоянием атмосферного воздуха, вод, почв, биоценозов. В Украине изучением динамики химического состава и опасности составляющих окружающей среды занимаются службы Государственного мониторинга в соответствии с утвержденными инструкциями и методиками. В этих пределах прогнозирования ситуаций и уровни опасности не дифференцированы даже относительно главных факторов и закономерностей геохимической миграции.

Ландшафтно-геохимическое строение территории – важный фактор оценки и прогнозирования состояния биоценозов, в частности здоровья населения. Ландшафт-



ное разнообразие каждой территории связано с систематикой факторов формирования ландшафтов и особенностями физико-географического районирования. Горизонтальную и вертикальную неоднородность ландшафтных компонентов и факторов обобщает их классификация и типология. Например, типы ландшафтов, классы ландшафтов, виды ландшафтов [1].

Выбор критериев экологической опасности в практике геоэкологических исследований довольно часто является необоснованным и формальным. Например, не учитывают зональные ландшафтные особенности при применении предельно допустимых концентраций, предельно допустимых выбросов, площадей санитарных зон, зон экологической опасности. Оценка экологического состояния территории может основываться только на одном-двух моноэлементных параметрах, например содержание свинца в верхнем слое почвы.

Заболеваемость населения является интегрированным показателем влияния окружающей среды на здоровье человека при биогеохимических исследованиях и конечным результатом качества соответствующих биогеохимических цепей. Региональные биогеохимические исследования содержания микроэлементов до сих пор касались лишь наиболее изученных эндемиков щитовидной железы и кариеса, пространственно обусловленных недостатком йода и фтора в природных питьевых водах.

За последнее десятилетие были проанализированы комплексные пространственные взаимосвязи заболеваемости населения Украины с микроэлементным составом почв и ландшафтно-геохимическим строением территории государства [2–4]. Были выявлены новые биогеохимические субрегионы, исследованы ландшафтно-геохимические условия их формирования. Медико-геохимический анализ территорий субрегионов Украины проведен на основании официальных материалов многолетней распространенности заболеваний среди детей в возрасте до 14 лет. Данные медицинской статистики за период 1985–2000 гг. подготовлены Центром медицинской статистики МЗ Украины по отдельным заболеваниям возможной эндемичной природы: общей и железодефицитной анемии, нефритов, сахарного диабета, гепатита. С учетом уровня обобщения данных медицинской статистики в пределах административных областей Украины эколого-геохимические данные опробования почв были обобщены по соединенным территориям.

Территории биогеохимических субрегионов Co, Mo, Mn характеризовались преобладанием в структуре геохимического поля почв административной области недостатка указанных эссенциальных микроэлементов (на уровне 60–100 % проб статистической выборки) по территориальной повышенной распространенности соответствующих эндемических заболеваний – анемий, нефритов, гепатита.

Интенсивность регионального загрязнения компонентов ландшафтов резко снижается в ряду: поверхностные воды – почвы – донные отложения. Для большинства ландшафтов геохимическое рассеивание или накопление Ba, Te, Mn, Ni, Zn в почве и донных отложениях сопряженное с накоплением тяжелых металлов в поверхностных водах. Уровень линейной корреляции экологической опасности и загрязнения компонентов геохимических ландшафтов снижается в направлении от лесостепных и степных ландшафтов до лесных равнинных и горных.

Недостаток и избыток кобальта, молибдена, марганца, цинка, меди, стронция в почвах обусловлены типом и классом геохимических ландшафтов, а именно: коэффициентом ионной силы поверхностных вод (КИС) и типоморфными макроэлементами геохимической миграции.



Итак, сочетание природных и антропогенных факторов формирования ландшафтов создает определенную дифференциацию геохимического поля среды и соответствующие его медико-экологические особенности.

Влияние гидросферы на здоровье человека

Качество воды имеет большое значение для здоровья населения. Проблема питьевой воды с каждым годом становится все острее. Для Украины является фактом, что вода, прошедшая по водопроводах, теряет значительную часть своих природных свойств. Вопрос решается путем поставки потребителю естественной, необработанной, пресной бутилированной воды, добываемой непосредственно из источников, колодцев, скважин с природной водой хорошего питьевого качества [5].

В наибольшей степени на организм влияет питьевая вода. С ее экологическим неблагополучием связывают многие заболевания человека.

Организм человека контактирует с составляющими гидросферы через верхние дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт и кожу.

Верхние дыхательные пути – наименее изучены. Механизм действия заключается в том, что в насыщенном водяным паром воздухе (туман, смог) в мельчайших каплях воды растворяются различные токсичные примеси и газы. Альвеолы легких имеют огромную всасывающую поверхность, поэтому вредные примеси влияют прежде всего на этот орган и обуславливают его патологию. Через большой круг кровообращения они попадают внутрь организма. При этом обминается мощнейший фильтр человеческого организма, где происходит детоксикация ксенобиотиков – печень.

Желудочно-кишечный тракт. Значительная часть воды, поступающей в организм в свободном состоянии, всасывается в двенадцатиперстной кишке, тощей кишке и желудке. При неудовлетворительном качестве воды в источниках водоснабжения прежде всего поражается желудочно-кишечный тракт, что вызывает развитие гастроэнтеритом.

Кожный покров. Во время купания кожа человека тесно контактирует с водой, поэтому в экологически неблагополучных водоемах в организм человека могут попасть простейшие, бактерии, гельминты и насекомые, которые живут и размножаются в водной среде, и могут вызвать заражение.

Согласно классификации ВОЗ, существует пять групп заболеваний, связанных с экологическим состоянием гидросферы: от зараженной воды (тиф, холера, дизентерия, полиомиелит, гепатит); кожи и слизистых оболочек (трахома, проказа); вызванные моллюсками (шистосомоз, ришта); вызванные насекомыми, которые живут и размножаются в воде (малярия, желтая лихорадка); от загрязненной воды [5].

Механизмы нейро- и нефротоксичности. С питьевой водой в организм человека могут попадать многочисленные ксенобиотики, в частности те, которые нарушают деятельность нервной и выделительной систем. Нейротоксичность – это способность химических веществ нарушать структуру и функции нервной системы. Такое действие характерно большинству известных веществ, поэтому практически любая острая интоксикация той или иной степенью сопровождается нарушениями функции нервной системы.

Патология, развивающаяся в организме человека, является следствием влияния ксенобиотиков на возбудимые мембраны, механизмы передачи нервного импульса в синапсах, пластический и энергетический обмен (гипоксия, ишемия) в нервной ткани. В наибольшей степени нарушения энергетического обмена сказывается на состоянии



нейронов, имеющих высокие уровни потребления кислорода и синтеза макроэргов. Нейротоксический эффект может проявляться в форме нарушений моторных, сенсорных функций, эмоционального статуса, памяти, способности к обучению. Часто нарушаются зрение, слух, тактильная и болевая чувствительность и т.д. Сенсомоторные изменения приводят к появлению мышечной слабости, парезов, паралича.

В большинстве стран мира существует перечень основных загрязняющих веществ, способных оказывать неблагоприятное влияние на организм человека и содержание которых в воде нормируется. Их перечень и допустимые концентрации существенно различаются. В Украине основным документом, регламентирующим содержание вредных компонентов в воде, является Санитарные правила и нормы «Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения». В нем указано нормативно допустимое содержание ксенобиотиков в питьевой воде.

Другим аспектом, привлекающим внимание специалистов, является специфика химического состава подземных вод Бучацкого водоносного горизонта в районе и в пределах г. Миргород. По результатам многолетних наблюдений химический состав подземных вод г. Миргород является определяющим фактором, который потенциально может влиять на состояние здоровья населения.

По физическим свойствам вода Бучацкого горизонта чистая, без осадка, цветность 0 баллов, прозрачная (30 см и более), без запаха. При подогреве имеет солоноватый привкус. Вода очень мягкая, ее твердость колеблется в пределах 0,5–1,5 мг-экв/дм³ при допустимом значении 7 мг-экв/дм³, рН воды в пределах 7,2–8,3 [6].

По содержанию макрокомпонентов вода Бучацкого горизонта в г. Миргород не соответствует требованиям ДержСанПиНа по двум показателям: содержание хлора в ней превышает ПДК в 1,20–1,75 раза, общая минерализация превышает допустимую в 1,48–1,86 раза. По содержанию микроэлементов она не отвечает требованиям ДержСанПиНа по фтору, концентрация которого колеблется в пределах 1,2–4,5 мг/дм³, и железу (0,8–1,1 мг/дм³). Концентрации других микроэлементов находятся в допустимых пределах.

Геофизическая сфера как фактор влияния на здоровье человека

Геофизическая сфера – очень важный аспект воздействия на человека природных и техноприродных факторов в пределах геологической среды.

Основным источником геофизических аномалий является тектоносфера Земли, выраженная в соответствующей тектонической организации геологической среды. Относительно неоднородности геологической среды и особенностей механизма развития геологических процессов в этот перечень включается формирование соответствующих газовых эманаций, подземных вод и т.п. Немаловажное значение имеют геопатогенные зоны, а также другие факторы негативного воздействия на биологические объекты, в том числе на здоровье человека.

Одним из важных факторов влияния на здоровье населения является геофизическая сфера, то есть соответствующие геофизические поля.

Геопатогенные зоны (ГПЗ) – это участки геологической среды, в пределах которых геофизические поля отрицательно влияют на человека и другие биологические объекты. Аномалии геофизических полей связаны с современными геологическими процессами и явлениями, а также с определенными элементами геологических структур, которые преимущественно находятся в геодинамическо-активном состоянии. Ме-



дики, биологи, геологи связывают ГПЗ с геологическими разломами, пересечениями подземных водных потоков и энергетическими сетями Земли: прямоугольными и диагональными.

Физическая сущность геопатогенных зон заключается в воздействии электромагнитных волн импульсного характера, которые формируются в результате разгрузки поля напряженности в пределах зон контакта геоблоков земной коры. Генерируясь по тектоническим трещинам и зонам, формируются геопатогенные зоны.

Сегодня большое внимание уделяют именно негативному влиянию ГПЗ и тектонически нарушенных зон на здоровье и жизнедеятельность человека, животных, растений. Если ГПЗ в основном вызывают именно такое действие, то геодинамические, энергоизлучающие зоны во многих своих проявлениях положительно влияют на биосферу, в частности на человека.

Сейчас существование таких сеток подвергается обоснованной критике. Ведь они не согласуются с диагональной сеткой разрывных нарушений, с геофизическими аномалиями, и поэтому практически сложно, а порой и невозможно объяснить механизм их воздействия на биологические объекты.

Сложность исследований ГПЗ заключается в том, что эта проблема находится на стыке многих наук: геологии, геофизики, геохимии, биохимии, экологии, медицины и т.д., что требует координации значительных усилий во многих направлениях. Исключительно важен и социальный аспект проблемы, поскольку она напрямую связана со здоровьем человека. Длительное пребывание человека в ГПЗ (место отдыха, рабочее место) неизбежно приводит к серьезным заболеваниям: онкологическим, рассеянному склерозу, астме, депрессивному состоянию, неврозу и т.д.

Известно, что около 90 % информации мы получаем от электромагнитных полей. Они существуют во всех оболочках Земли, сопровождают многие процессы. Особенно сильно на организмы действуют импульсные электромагнитные поля, в происхождении которых существенную роль играют источники, расположенные в литосфере. Их называют природными импульсными электромагнитными полями Земли (ПИЭМПЗ). Соответствующее название получил и метод их изучения – метод ПИЭМПЗ.

ГПЗ и ТПЗ особенно интересуют ученых в связи с их непосредственным воздействием на здоровье человека, а также на организмы животных и растений.

ТПЗ связаны с искусственными источниками излучения. В последние десятилетия возрос интерес к электромагнитным полям и не только как к основным носителям и источникам информации. Мы привыкли к линиям электропередач, теле- и радиовышек, множества бытовых и производственных электрических приборов, троллейбусных линий, электропоездов и т.д. Это все источники электромагнитных полей. Излучение свойственно и бетону, особенно в высотных зданиях. Суммарная напряженность геофизических полей возросла на 2–5 порядка по сравнению с естественным фоном. Искусственные, техногенные поля накладываются на естественные, вследствие чего суммарная напряженность поля на несколько порядков больше естественного фона. Излучения от искусственных источников распространяется вдоль геологических структур (например, разломов) и может аккумулироваться в определенных местах [6; 8].

Особенно опасными для человека являются места пересечения разломов и водных потоков. Исследованиями в Крыму, Карпатах и других регионах подтверждено, что в породах структур, связанных с разломами, концентрируется напряжение, и они становятся генераторами электромагнитной энергии – ГПЗ. Вместе с этим меняется



много других физических параметров: напряженность электрического и магнитного полей, удельная электропроводность пород, уровень радиоактивного фона и т.п.

Геопатогенные зоны на оползнях имеют ряд специфических особенностей: локальное распространение, нестабильность во времени и пространстве, разнообразное негативное влияние на людей [10]. Выделенные операторами биолокации признаки ГПЗ связаны преимущественно с неустойчивостью территории. Это многочисленные трещины на поверхности и стенах домов, следы солифлюкции, разрушения и осыпания штукатурки и т.п. Размещение ГПЗ и ТПЗ тесно связано с природными и техногенными процессами.

Тектонические движения приводят к возникновению необратимых термодинамических процессов. В результате взаимодействия различных физических полей происходит активный массо- и энергообмен между внутренней и внешней средой. По геодинамических зонах переносится основное количество энергии из космоса и из недр Земли в космос [7].

Биологическое действие ионизирующего излучения – это функциональные и структурные изменения живых организмов, вызванные коротковолновым электромагнитным излучением (рентгеновские, гамма-лучи), потоком частиц атомного происхождения (электроны, протоны, нейтроны, альфа-частицы) или ускоренными ядрами атомов.

Облучение организма – процесс воздействия на организм различных видов излучения (инфракрасного, ультрафиолетового, ионизирующего и др.). Различают внешнее и внутреннее облучение организма. В случае внешнего облучения источник излучения (ртутные лампы, рентгеновские аппараты, ядерные реакторы и т.п.) находится вне облучаемой ткани или организма. Внутреннее облучение организма происходит в случае накопления радиоактивных веществ в клетках, так достигают выборочного их облучения при лучевой терапии. Степень облучения организма зависит от дозы поглощенного излучения [10].

Выявление таких зон является недостаточным для того, чтобы делать однозначные выводы о геопатогенезе. Несмотря на универсальность этого парапсихологического метода, необходимы интерпретация и объяснение с позиций современной науки. Геофизические поля, которые вызывают дискомфорт и тяжелые заболевания, довольно разные: гравитационные, магнитные, электрические, электромагнитные, акустические, тепловые, радиационные. Встречаются аномалии содержания радионуклидов, тяжелых металлов и т.п. Указанные аномалии часто связаны с природными геологическими образованиями. Для большинства веществ известны ПДК и характер воздействия на живые организмы. Однако их влияние зависит от индивидуальных особенностей человека, наследственности и социально-бытовых условий.

Самым простым и эффективным способом защиты от ГПЗ является нахождение вне пределов их распространения или непродолжительное пребывание в них. В региональном плане проектирование и строительство жилых и производственных зданий следует проводить с учетом ГПЗ. Обустраивать места отдыха, рабочие места, расставлять мебель нужно в строгом соответствии с планом ГПЗ.

Итак, экологические задачи, стоящие перед человечеством, рост численности населения, урбанизация территорий, повышение заболеваемости населения требуют особого отношения к здоровью человека в контексте его взаимодействия с геологической средой.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронкевич, С.Д. Инженерно–геохимические аспекты техногенеза / С.Д. Воронкевич // Инженерная геология. – 1984. – № 3. – С. 67–78.
2. Єгорова, Т.М. Екологічна оцінка геохімічних ландшафтів у системі раціонального природокористування України / Т.М. Єгорова // Мінеральні ресурси України. – 2004. – № 2. – С. 33–38.
3. Єгорова, Т.М. Еколого–геохімічні параметри природної безпеки ландшафтів України / Т.М. Єгорова // Вісн. Одес. держ. ун–ту. Сер. Географ. та геолог. науки. – 2003. – Т. 8, вип. 5. – С. 37–46.
4. Єгорова, Т.М. Еколого–геохімічна провінція України з дефіцитом кобальту: Реакції живих організмів на її території / Т.М. Єгорова // Доп. НАН України. – 2002. – № 11. – С. 110–114.
5. Келлер, А.А. Медицинская экология / А.А. Келлер, В.И. Кувакин. – СПб. : Петроградский и К°, 1998. – 256 с.
6. Котляков, В.М. Наука, общество и окружающая среда / В.М. Котляков. – М. : Наука, 1997. – С. 181.
7. Медицинская экология: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Королев, М.В. Богданов, А.А. Королев [и др.]; под ред. А.А. Королева. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 192 с.
8. Нейко, Є.М. Медико–геоекологічний аналіз стану довкілля як інструмент оцінки та контролю здоров'я населення / Є.М. Нейко, Г.І. Рудько, Н.І. Смоляр. – Івано–Франківськ : Екор, 2001. – 350 с.
9. Стожаров, А.Н. Медицинская экология / А.Н. Стожаров. – Минск : Вышэйшая шк., 2007. – 368 с.
10. Худолей, В.В. Экологически опасные факторы / В.В. Худолей, И.В. Мизгирев. – СПб. : АОЗТ УПФФ, 1996. – 186 с.

G.I. Rudko. General Provisions of Medical Geology as a New Direction in Science

Medical geology is a new scientific field of geology that studies the mechanism and dynamics of interaction between the geological environment and a human being, the result of this interaction (human health and life from the perspective of the impact that the geological processes) and feedback (man-made human impact on the geological and adjacent environment). Human health is his normal physical status and optimum psycho-emotional factors and depends on the development scope of natural, induced, man-made hazardous geological processes of endogenous and exogenous origin.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 04.10.2011 г.



УДК 502.65

О.В. Токарчук

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ТРАНСГРАНИЧНОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ: СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ

В работе представлен опыт комплексной оценки состояния и выработки предложений по оптимизации сети мониторинга поверхностных вод трансграничной части бассейна реки Западный Буг. Мониторинг качества поверхностных вод бассейна административно и ведомственно разобщен, здесь преобладают пункты мониторинга, которые расположены на крупных и средних водотоках. С учетом существующих в пределах трансграничного бассейна систем и подсистем мониторинга, разработанных автором схемы физико-географического районирования, а также схем типизации малых водосборов и районирования бассейна по степени устойчивости к антропогенным воздействиям, с целью оптимизации сети мониторинга поверхностных вод исследуемой территории обосновывается необходимость проведения дополнительных наблюдений на репрезентативных малых водосборах, а также в предлагаемых пунктах репрезентативного и дополнительного мониторинга качества поверхностных вод.

Введение

Западный Буг, являясь крупнейшим левосторонним притоком р. Нарев, протекает по территории трех государств: из 755 км длины реки 185 км верхнего течения находятся на территории Украины, далее, на протяжении 363 км, река служит природной границей Польши с Украиной и Беларусью, нижний отрезок течения, протяженностью 207 км, находится на территории Польши. Из 39 420 км² поверхности бассейна Западного Буга 30 025 км² образуют так называемую трансграничную часть (до створа выхода реки за пределы территории Беларуси), сток воды с которой происходит через государственную границу на территорию Польши. Трансграничная часть бассейна практически поровну распределена между тремя государствами (10,8 тыс. км², 10,0 тыс. км², 9,2 тыс. км² соответственно в пределах Украины, Польши и Беларуси).

Целью работы являлась разработка рекомендаций по оптимизации сети мониторинга поверхностных вод трансграничной части бассейна р. Западный Буг.

Материал и методика исследования основывались на анализе существующих систем мониторинга поверхностных вод, а также на результатах изучения неоднородности природной среды территории [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Мониторинг качества поверхностных вод в пределах каждой из национальных частей исследуемой территории имеет свои особенности организации.

В пределах белорусской части бассейна мониторинг качества поверхностных вод осуществляют структурные подразделения организаций, подчиненных Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. В 2010 г. мониторинг поверхностных вод на территории бассейна проводился в 18 пунктах наблюдений: в 7 основных пунктах гидрохимического и гидробиологического мониторинга, в 1 пункте гидрохимического мониторинга, в 10 пунктах мониторинга трансграничного переноса загрязняющих веществ (из них в 7 пунктах непосредственно на р. Западный Буг). Всего стационарными наблюдениями охвачено 9 водных объектов, из них 7 водотоков и 2 водоема [2, с. 36].



Периодичность проведения гидрохимических наблюдений на стационарной сети мониторинга вод зависит от категоричности пунктов, установленной в соответствии с ГОСТ 17.1.3.07-82. На пунктах 3 категории наблюдения проводятся ежемесячно; на пунктах 4 категории – 7 раз в год, в основные фазы гидрологического режима на водотоках и 4 раза в год на водоемах. Периодичность гидробиологических наблюдений составляет, в зависимости от информационной емкости сообществ, от 1 до 4 раз в год.

В пределах польской части бассейна мониторинг качества поверхностных вод представлен двумя системами мониторинга – краевой (реализуется в масштабе всей страны) и региональной (организована в масштабе отдельных воеводств) [3].

Краевая система включает в себя подсистемы основного и пограничного мониторинга. Пункты основного мониторинга располагаются на главных реках. В пределах исследуемой территории находится 6 пунктов основного мониторинга: 3 на р. Западный Буг и 3 на околоустьевых участках течения ее основных притоков: рр. Хучва, Ухерка, Кшна. Пробы воды в данной подсистеме отбираются раз в месяц.

Пограничный мониторинг проводится на пограничных реках. В пределах исследуемой территории данный вид мониторинга представлен 10 пунктами наблюдений на р. Западный Буг в Люблинском воеводстве и 1 пунктом на р. Лесная Правая в Подляском воеводстве, периодичность отбора проб на которых согласуется с соседними государствами.

Региональная система мониторинга организована в пределах отдельных воеводств Польши. Ее задача – сбор информации о качестве вод для принятия на ее основе хозяйственных решений в пределах конкретного воеводства. Исследования проводятся на реках, которые выполняют роль приемников стоков, являются источниками водообеспечения, протекают через рекреационные и охраняемые территории. В пределах исследуемой территории систему регионального мониторинга образуют 52 пункта наблюдений в Люблинском и 2 – в Подляском воеводствах. Изучение качества вод в системе регионального мониторинга проводится ежемесячно либо каждый год, либо раз в 3–5 лет. Ежегодный цикл исследований организован на реках, вода из которых используется для хозяйственных целей, и на реках, в пределах водосборов которых находятся значительные источники загрязнения, а очистка сточных вод не нормирована. Трехлетний цикл исследований организован на реках со значительными источниками загрязнения, для которых нормирована очистка сточных вод. Пятилетний цикл исследований организован на небольших реках, а также реках охраняемых территорий. Такая периодичность исследований позволяет оценить изменение натурального химического состава вод.

В пределах украинской части бассейна мониторинг качества поверхностных вод р. Западный Буг также реализуется на государственном (в масштабе всей Украины) и региональном (в масштабе отдельных областей) уровнях [4; 5].

Государственная сеть мониторинга включает в себя пункты мониторинга департамента гидрометеорологии Министерства экологии и Государственного комитета водного хозяйства, созданную в рамках международных проектов пограничную сеть мониторинга.

Сеть мониторинга департамента гидрометеорологии включает 11 пунктов (7 – на р. Западный Буг и 4 – на притоках), отбор проб на которых производится ежемесячно.

Сеть мониторинга Государственного комитета водного хозяйства включает 6 пунктов наблюдений (4 – на р. Западный Буг и 2 – на притоках), отбор проб на которых производится ежеквартально.

Пограничная сеть мониторинга реализована при финансовой поддержке программы TACIS в рамках международного проекта «Трансграничный мониторинг и оценка качества



воды рек Западный Буг, Уж и Латорица». Сеть мониторинга в пределах исследуемой территории включает 9 пунктов наблюдения на р. Западный Буг и 5 – на притоках. Периодичность отбора проб варьировала в ходе выполнения отдельных этапов проекта.

Региональная сеть мониторинга организована в пределах отдельных областей Украины, представлена сетью мониторинга областных Государственных управлений экологии и природных ресурсов и включает в себя наибольшее количество пунктов наблюдения: во Львовской области она представлена 14 пунктами мониторинга (8 – на р. Западный Буг и 6 – на притоках), в Волынской – 15 (5 – на р. Западный Буг и 10 – на притоках). Отбор проб в региональной сети мониторинга производится ежеквартально.

Территориальное расположение существующих в пределах исследуемой территории пунктов мониторинга качества вод можно охарактеризовать как неоднородное. Наиболее плотной является сеть мониторинга в пределах польской части бассейна, для украинской части характерна большая неравномерность в обеспеченности территории пунктами мониторинга и дублирование наблюдений различными ведомствами, белорусская часть является наименее обеспеченной пунктами мониторинга.

Изучение состава контролируемых показателей качества поверхностных вод в пределах национальных частей бассейна показало их отличия, определяемые задачами отдельных систем и подсистем мониторинга. В то же время, в каждой из систем программа наблюдений включает обязательный перечень ингредиентов, которые характеризуют естественный режим гидросферы, и загрязнителей, имеющих глобальный характер распространения, а также комплексные показатели общего уровня загрязнения. Помимо этого, в каждом конкретном случае (в первую очередь для пунктов регионального ранга) состав контролируемых показателей дополнен специфическими загрязняющими веществами, потенциально опасными для данного водного объекта.

В целом, изучение особенностей организации существующих систем мониторинга качества поверхностных вод в пределах трансграничной части бассейна р. Западный Буг позволяет сделать вывод об их значительной административной и ведомственной разобщенности, отсутствии общей программы наблюдений. Это снижает эффективность проведения мониторинга качества поверхностных вод и требует обоснования предложений по его улучшению. В то же время сходство существующих систем мониторинга, общие принципы построения программ наблюдений являются достаточным условием создания общей, наднациональной системы мониторинга качества вод рассматриваемого трансграничного бассейна.

Сопоставление схемы размещения существующих пунктов мониторинга качества вод исследуемой территории с разработанными автором схемой физико-географического районирования и схемой типизации малых водосборов по степени устойчивости к антропогенным воздействиям [1; 6] позволяет сделать вывод о том, что действующие пункты мониторинга недостаточно полно учитывают физико-географические особенности формирования поверхностных вод и устойчивость конкретных малых водосборов, в первую очередь направлены на учет воздействия крупных точечных источников загрязнения.

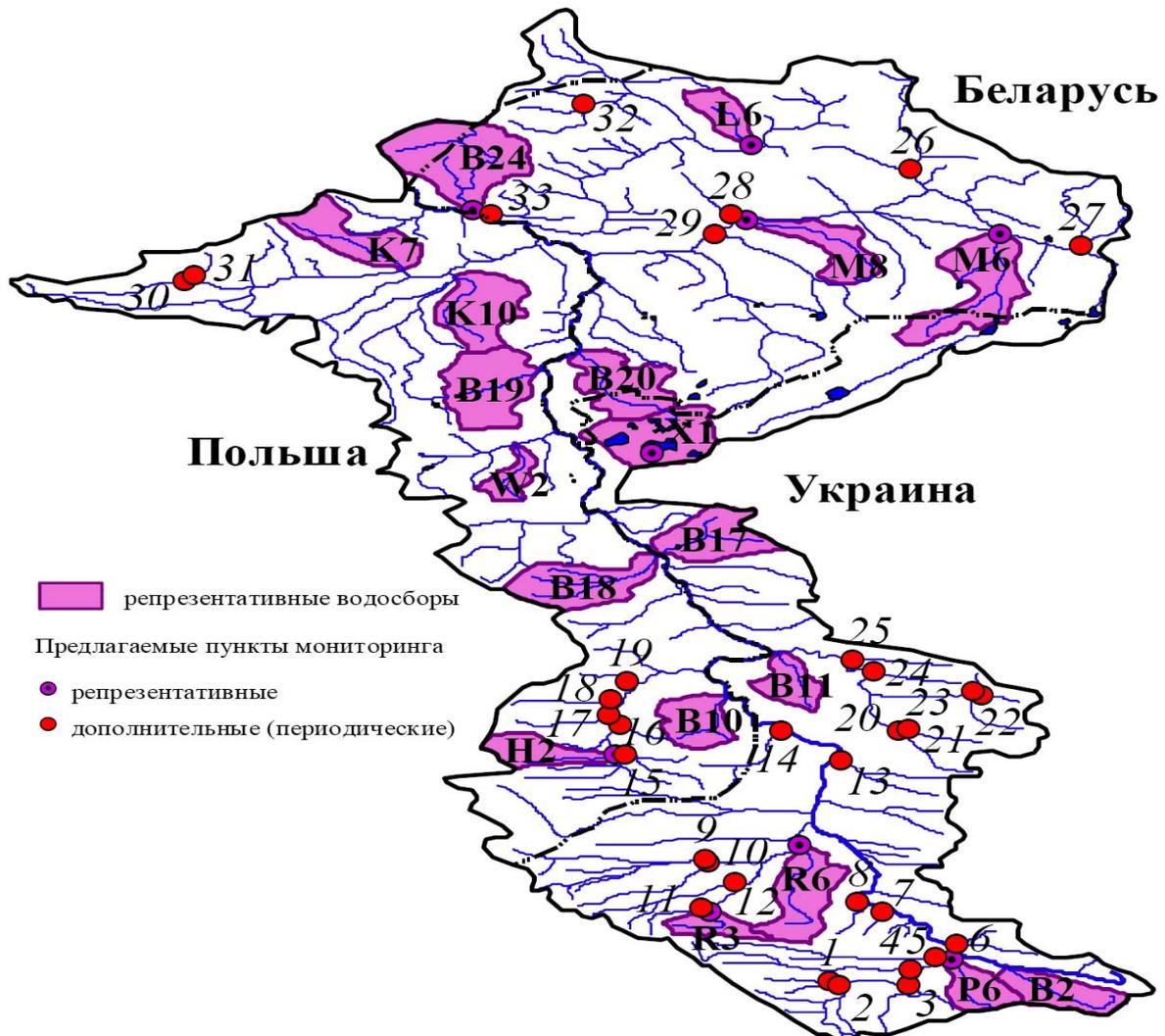
Большинство действующих пунктов мониторинга расположены на крупнейших реках исследуемой территории и отражают комплекс физико-географических и экологических особенностей формирования поверхностных вод в пределах сразу нескольких физико-географических районов. Даже те из пунктов мониторинга, которые расположены на небольших реках, зачастую слабо согласуются с единицами природного районирова-



ния. Ряд физико-географических районов в пределах территории не обеспечен пунктами мониторинга качества вод: это Южное Розточье, Побужская котловина, Шацкая равнина, Верхне-Припятская равнина, Пружанская равнина. Все это усложняет использование результатов мониторинга для изучения особенностей формирования поверхностных вод, обоснования предложений по их рациональному использованию и охране.

В то же время, для анализа особенностей формирования поверхностных вод, данные наблюдений на пунктах мониторинга необходимо сочетать с комплексным изучением однородных в природном отношении водосборов с характерными особенностями хозяйственного освоения [7].

В качестве наиболее перспективных для изучения особенностей формирования поверхностных вод в пределах исследуемой территории в ходе проведенного исследования были выбраны 19 малых водосборов, которые можно рассматривать в качестве репрезентативных водосборов (РВ) (рисунок), представляющих различные физико-географические районы.



Обозначения репрезентативных водосборов даны в таблице 1

Рисунок – Предлагаемые репрезентативные водосборы и пункты мониторинга



Полностью или практически полностью располагаясь в пределах отдельных физико-географических районов, РВ в наибольшей степени отражают общий характер устойчивости к антропогенным воздействиям малых водосборов в их пределах (таблица 1). С таблицы 1 видно, что РВ южной части бассейна характеризуются удовлетворительной и неудовлетворительной устойчивостью к антропогенным воздействиям. В то же время, среди репрезентативных водосборов его северной части встречаются РВ с очень хорошей, хорошей и средней устойчивостью.

Таблица 1 – Предлагаемые в качестве репрезентативных малые водосборы в пределах трансграничной части бассейна р. Западный Буг

Обозначение малого водосбора (МВ)	Тип и положение МВ в структуре бассейнового строения	Физико-географический район, который представляет МВ	Устойчивость МВ к антропогенным воздействиям
B2	ЧВ р. Золочевка	Гологоро-Воронякская гряда	V
P6	ЧВ р. Гологурка	Верхне-Бугская равнина	IV
R3	ЧВ р. Свиня от истока до впадения р. Млиновка	Южное Розточье	V
R6	ЧВ р. Желдец	Побужская котловина	IV
H2	ЧВ р. Раханка	Сокальская гряда	IV
B10	ЧВ р. Букова	Хрубешувско-Иваничевская котловина	IV
B11	ЧВ р. Студянка	Городельско-Хотячивская гряда	IV
B17	ЧВ р. Ягодинка	Любомльская равнина	IV
B18	ЧВ р. Удадь	Хелмская равнина	IV
X1	ЧВ Шацкой группы озер	Шацкая равнина	I
W2	ЧВ р. Кшемянка	Ленчыньско-Влодавская равнина	III
B19	ЧВ р. Ханна	Коденьская равнина	III
B20	ЧВ р. Копаювка	Малоритская равнина	II
M6	ЧВ кан. Ореховский	Верхне-Припятская равнина	IV
M8	ЧВ р. Тростяница	Брестская равнина	IV
K7	ЧВ р. Ключувка	Лукувская равнина	IV
K10	ЧВ р. Лютня	Ломазская равнина	IV
L6	ЧВ р. Вишня	Пружанская равнина	II
B24	ЧВ р. Пульва	Высоковская равнина	IV

Примечание – устойчивость I – очень хорошая, II – хорошая, III – средняя, IV – удовлетворительная, V – неудовлетворительная.

Для изучения изменения качества поверхностных вод в пределах РВ, не обеспеченных существующими пунктами мониторинга, перспективным является создание 9 репрезентативных пунктов мониторинга (см. рисунок, таблица 2). Для РВ, которые обеспечены существующими пунктами мониторинга, в качестве репрезентативных це-



лесообразно использовать ближайшие к замыкающим створам пункты мониторинга (таблица 3).

Таблица 2 – Предлагаемые репрезентативные пункты мониторинга качества поверхностных вод в пределах трансграничной части бассейна р. Западный Буг

Водный объект	Расстояние от устья, км	Географическая привязка	Обозначение замыкаемого репрезентативного МВ
р. Гологурка	2,8	у д. Острив	P6
р. Свиня	2,2	в г. Жолква	R3
р. Желдец	3,1	у д. Боровое	R6
р. Раханка	1,2	у д. Лашчув	H2
оз. Свитязьское	–	у д. Свитязь	X1
кан. Ореховский	3,2	у д. Онисковичи	M6
р. Тростяница	3,8	у д. Чижевщина	M8
р. Вишня	1,4	у д. Старуны	L6
р. Пульва	2,3	у д. Огородники	B24

Таблица 3 – Существующие пункты мониторинга вод трансграничной части бассейна р. Западный Буг, которые целесообразно использовать в качестве репрезентативных

Водный объект	Расстояние от устья, км	Географическая привязка	Обозначение замыкаемого репрезентативного МВ
р. Золочевка	12,6	у д. Хильчиши	B2
р. Букова	0,4	у д. Космув	B10
р. Студянка	1,2	в г. Устилуг	B11
р. Ягодинка	2,1	у д. Бережцы	B17
р. Удадь	4,3	у д. Турка	B18
р. Кшемянка	5,9	у д. Люта	W2
р. Ханна	2,4	у д. Ханна	B19
р. Копаявка	2,9	у д. Леплевка	B20
р. Клюкувка	1,2	в г. Бяла-Подляска	K7
р. Лютня	4,7	у д. Хотылув	K10

Результаты исследований на РВ и наблюдений на репрезентативных пунктах мониторинга могут стать основой изучения особенностей формирования поверхностных вод в пределах исследуемой территории. Однако они не могут обеспечить оперативного отслеживания качества поверхностных вод всего бассейна, поэтому должны дополняться пунктами наблюдений за источниками загрязнения поверхностных вод.

Существующая сеть мониторинга качества поверхностных вод бассейна направлена в первую очередь на отслеживание влияния на качество поверхностных вод точечных источников загрязнения. В то же время около 60 % загрязнения поверхностных вод дают рассредоточенные (диффузные) источники загрязнения [5].



Сопоставление схемы размещения существующих пунктов мониторинга качества вод со схемой проведенной типизации малых водосборов по устойчивости к антропогенным воздействиям позволяет сделать вывод о том, что действующие системы мониторинга не в полной мере обеспечены пунктами наблюдения на МВ с низкой устойчивостью. Следовательно, они недостаточно полно учитывают воздействие рассредоточенных источников загрязнения поверхностных вод. В то же время известно, что многие из таких источников изменчивы во времени, их влияние на поверхностные воды трудно предугадать.

Для изучения влияния на качество поверхностных вод отдельных рассредоточенных источников загрязнения перспективным является создание пунктов дополнительного мониторинга (см. рисунок), на которых целесообразно проводить разовый отбор проб для изучения качества вод малых водотоков. Большинство предлагаемых пунктов дополнительного мониторинга располагаются на замыкающих створах малых водосборов с удовлетворительной устойчивостью к антропогенным воздействиям, что говорит о перспективной возможности учета результатов проводимого мониторинга для предотвращения ухудшения состояния поверхностных вод.

Заклучение

Предложения по оптимизации мониторинга качества поверхностных вод трансграничной части бассейна реки Западный Буг представлены впервые и носят рекомендательный характер. Важным условием их реализации на практике является дальнейшая разработка программы наблюдений на предлагаемых репрезентативных водосборах, репрезентативных и дополнительных пунктах мониторинга, что является целью отдельного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Токарчук, О.В. Физико-географическое районирование трансграничной части бассейна реки Западный Буг / О.В. Токарчук // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2005. – № 3. – С. 88–92.
2. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2010 / под ред. С.И. Кузьмина. – Минск : «Бел НИЦ «Экология», 2011. – 308 с.
3. Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2003–2009. – Warszawa : Gł. Insp. OŚ, 2003. – 134 s.
4. Національний атлас України / редкол. : Л.Г. Руденко [та інш.]. – Київ : ДНВП «Картографія», 2008. – 440 с.
5. Забокрицька, М.Р. Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу на території України / М. Р. Забокрицька [и др.]. – К. : Ніка-Центр, 2006. – 184 с.
6. Токарчук, О.В. Комплексная оценка экологического состояния малых водосборов трансграничной части бассейна реки Западный Буг / О.В. Токарчук, С.М. Токарчук // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія, Біялогія, Навукі аб зямлі. – 2010. – № 1. – С. 120–128.
7. Репрезентативные и экспериментальные бассейны / редкол. : К. Гоубс [и др.]. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – 428 с.



O.V. Tokarchuk. Monitoring of Quality of Superficial Waters of the Transboundary part of the River Basin Western Bug: the Condition and Optimization Problems

The article describes the experience of complex assessment of the condition and development of offers on optimization of monitoring of superficial waters of a transboundary part of the river basin the Western Bug. Monitoring of quality of superficial waters of basin is carried out by different administrative and departmental establishments. Monitoring points are located mainly on a large waterway. The optimization of monitoring network of superficial waters of the Western Bug river basin is proposed in the article. The substantiation of necessity of carrying out of supervision on representative reservoirs, and also points of representative and additional monitoring is resulted. The suggested points are developed taking into account the existing systems and subsystems of the monitoring.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 11.10.2011 г.



ЗВЕСТКІ АБ АЎТАРАХ

- Багдасараў М.А.** – доктар геолога-мінэралагічных навук, дацэнт, загадчык кафедры геаграфіі Беларусі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Бялко А.В.** – кандыдыт фізіка-матэматычных навук, дацэнт кафедры інфармацыйных сістэм і тэхналогій Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Я. Купалы
- Грачанік М.Ф.** – старшы выкладчык кафедры геаграфіі Беларусі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Грыб С.В.** – магістрант кафедры глебазнаўства і зямельных інфармацыйных сістэм Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта
- Гурская А.Я.** – выкладчык кафедры методыкі выкладання матэматыкі і інфарматыкі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Дзерачыц Н.А.** – выкладчык кафедры вышэйшай матэматыкі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Кальмакова А.Г.** – кандыдат геаграфічных навук, старшы выкладчык кафедры фізічнай геаграфіі свету і адукацыйных тэхналогій Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта
- Красоўскі К.К.** – доктар геаграфічных навук, дацэнт, першы прарэктар Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Ліёпа В.А.** – доктар фізіка-матэматычных навук, прафесар, прафесар кафедры тэарэтычнай фізікі Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Я. Купалы
- Ліпавецкі С.С.** – асістэнт кафедры методыкі выкладання фізікі і агульнатэхнічных дысцыплін Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Ломцеў У.Л.** – кандыдат геолога-мінэралагічных навук, вядучы навуковы супрацоўнік Лабараторыі сейсмікі і марской акустыкі Інстытута марской геалогіі і геафізікі ДУА РАН (г. Южна-Сахалінск)
- Маслава В.І.** – малодшы навуковы супрацоўнік Цэнтральнага навукова-даследчага інстытута комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў (г. Мінск)
- Матысік А.В.** – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт, загадчык кафедры алгебры і геаметрыі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Нікіцін А.В.** – кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэарэтычнай фізікі Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Я. Купалы
- Нікіцюк Д.У.** – аспірант кафедры сацыяльна-эканамічнай геаграфіі і турызму Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Равінскі А.Ф.** – доктар фізіка-матэматычных навук, прафесар, загадчык кафедры агульнай фізікі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна, прафесар тэхнічнага ўніверсітэта ў Беластоку (Польшча)
- Рудзько Г.І.** – доктар геолога-мінэралагічных навук, доктар геаграфічных навук, доктар тэхнічных навук, прафесар, старшыня Дзяржаўнай камісіі Украіны па запасах карасных выкапняў (г. Кіеў)
- Сарасек С.І.** – аспірант Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Я. Купалы
- Секяржыцкі С.С.** – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт, дацэнт кафедры тэарэтычнай фізікі і астраноміі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна
- Струк В.А.** – доктар тэхнічных навук, прафесар Гродзенскага дзяржаўнага аграрнага ўніверсітэта
- Ступень Н.С.** – кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры хіміі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна



Такарчук А.В. – кандыдат геаграфічных навук, старшы выкладчык кафедры геаграфіі Беларусі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

Тарасевіч Ю.Г. – выкладчык кафедры тэарэтычнай фізікі Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Я. Купалы

Юдаў А.А. – кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт, дацэнт кафедры алгебры і геаметрыі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С. Пушкіна

Юркевіч Ю.Ю. – аспірант Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Я. Купалы

Да ведама аўтараў

У зборніку навуковых прац «Вучоныя запіскі» публікуюцца вынікі навуковых даследаванняў, якія праводзяцца ў Брэсцкім дзяржаўным універсітэце імя А.С. Пушкіна, іншых навуковых устаноў і ВНУ Рэспублікі Беларусь і замежжа.

Рэдкалегія зборніка 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 у двух экзэмплярах аб'ёмам ад 0,35 да 0,5 друкарскіх аркушаў, у электронным варыянце на дысकेце 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. Фотаздымкі ў друк не прымаюцца. Размернасць усіх велічынь, якія выкарыстоўваюцца ў тэксце, павінна адпавядаць Міжнароднай сістэме адзінак вымярэння (СВ). Забараняюцца скарачэнні слоў, акрамя агульнапрынятых.

Спіс цытуемай літаратуры павінен быць аформлены паводле ДАСТА 7.1-2003 і размешчаны ў канцы тэкста. Спасылкі на крыніцы ў тэксце артыкула нумаруюцца адпаведна парадку цытавання ў тэксце. Парадкавыя нумары спасылак павінны быць напісаны ўнутры квадратных дужак (напрыклад: [1, с. 32], [2, с. 52]). Забараняецца выкарыстанне канцавых зносак.

Артыкул уключае наступныя элементы па парадку:

- УДК;
- ініцыялы і прозвішча аўтара (аўтараў);
- назва друкуемага матэрыялу;
- анатацыя ў аб'ёме ад 100 да 150 слоў на мове артыкула (кегль – 10 pt.);
- асноўны тэкст з табліцамі, графікамі і іншымі ілюстрацыйнымі матэрыяламі, і які павінен быць структураваны ў адпаведнасці з патрабаваннямі ВАК да навуковых артыкулаў, якія друкуюцца ў выданнях, уключаных у спіс навуковых выданняў для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў (Уводзіны з пастаўленымі задачамі; Асноўная частка павінна быць структуравана з падзагалоўкамі; Заключэнне з дакладна сфармуляванымі высновамі);
- бібліяграфічныя спісы да артыкула ў адпаведнасці з ДАСТАм 7.1-2003;
- рэзюмэ на англійскай мове (альбо на рускай мове, калі артыкул друкуецца на англійскай) з перакладам назвы друкуемага матэрыялу, прозвішча і ініцыялаў аўтара ці аўтараў (кегль – 10 pt.).

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- звесткі пра аўтара на *беларускай* мове (прозвішча, імя, імя па бацьку поўнацю, вучоная ступень і званне, месца працы (вучобы) і пасада, хатні адрас і тэлефон);
- рэкамендацыя калегіяльнага органа ўстанова (падраздзялення), дзе працуе (вучыцца) аўтар;
- рэкамендацыя знешняга рэцэнзента, спецыяліста ў галіне праблемы друкуемага матэрыялу;
- экспертнае заключэнне;

Рэдакцыйная калегія часопіса пакідае за сабой права адбіраць, праводзіць экспертызу атрыманых матэрыялаў, рабіць дадатковае рэцэнзаваанне і рэдагаванне. Рукапісы, аформленыя без уліку выкладзеных правіл, не разглядаюцца.

Камп'ютэрнае макетаванне *А.Я. Кулай, С.М. Мініч*
Карэктары *К.А. Зуева, Л.М. Калілец, Ж.М. Селюжыцкая*

Подписано в печать 15.12.2011. Формат 60x84/8. Бумага офсетная.
Гарнітура Таймс. Ризография. Усл. печ. л. 16,74. Уч.-изд. л. 12,69.
Тираж 100 экз. Заказ № 656.

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина».
ЛИ № 02330/277 от 08.04.2009.
224016, Брест, ул. Мицкевича, 28.