

## СОДЕРЖАНИЕ

---

2016. № 1

---

### ФИЗИКА

- А.И. Филиппов, О.В. Ахметова, А.А. Ковальский, М.Р. Губайдуллин*  
Первое асимптотическое приближение задачи о поле давления в неоднородной ортотропной пористой среде ..... 5
- Д.Д. Карамов, В.М. Корнилов, Ю.В. Кульвелис,  
И.Р. Набиуллин, В.А. Крайкин, И.А. Ионова*  
Исследование структуры перспективных полимерных материалов методами малоуглового рассеяния нейтронов и атомно-силовой микроскопии ..... 13
- Р.Ф. Ахметьянов, Е.С. Шиховцева*  
Разложение степенного потенциала на основе обобщенной формулы Гейне ..... 24
- И.П. Попов*  
Противоречия корпускулярно-волнового обобщения ..... 32

---

### БИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И ГЕНЕТИКА

- В.М. Васюков, Н.А. Юрицына*  
Галофиты лесостепной и степной зон Приволжской возвышенности: *Chenopodiaceae* ... 35
- Е.В. Пикалова, Л.М. Абрамова, А.Н. Мустафина*  
Оценка виталитетного состава ценопопуляций инвазивного вида *Ambrosia trifida* L. в Южном Предуралье (Оренбургская область) ..... 40
- Т.Ю. Коршунова, С.П. Четвериков, Э.Г. Валиуллин, О.Н. Логинов*  
Влияние углеводородокисляющих микроорганизмов на деградацию нефти в песчаном грунте ..... 45
- Р.А. Билалова, Л.С. Никитина*  
Индивидуальное развитие *Clematis integrifolia* L. при интродукции в Ботаническом саду-институте Уфимского научного центра РАН ..... 52
- А.Х. Салихова, М.Ю. Шарипова*  
Разнообразие бентосных водорослей реки Большой Ик Природного парка «Мурадымовское ущелье» ..... 56
- Б.М. Аль Баяти, Е.В. Глинская, О.В. Нечаева, И.О. Лунева*  
Бета-лактамазы расширенного спектра действия (БЛРС), продуцируемые клиническими штаммами *Escherichia coli* при инфекциях мочевыводящих путей ..... 62

|   |    |
|---|----|
| <i>М.Н. Стаменов</i><br>Преобразование кроны <i>Quercus robur</i> L. в онтогенезе в сообществах<br>с разным уровнем освещенности .....  | 66 |
| <i>С.А. Хусаинова, А.Ф. Хусаинов, Л.М. Абрамова</i><br>Анализ адвентивного компонента флоры железнодорожных насыпей станций<br>в пределах Республики Башкортостан .....                     | 72 |
| <i>А.В. Суворов, М.В. Лебедева, С.М. Ямалов</i><br>Ординационный анализ высокогорных травяных сообществ<br>Сочинского национального парка .....   | 76 |
| <i>Л.Б. Высоцкая, Т.Н. Архипова, Г.Р. Кудоярова</i><br>Влияние конкуренции и обработки растений ингибитором рецепторов этилена<br>на рост растений салата и содержание в них гормонов ..... | 81 |
| <i>Е.В. Письмаркина, Т.Б. Силаева</i><br>Флористические материалы для ведения Красной книги Ульяновской области<br>за 2015 год .....  | 87 |

---

#### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

|   |    |
|---|----|
| <i>В.И. Сначёв</i><br>Рудоносность интрузивных комплексов северной части зоны Уралтау ..... | 92 |
|---|----|

---

#### ИСТОРИЯ, АРХЕОЛОГИЯ, ЭТНОЛОГИЯ

|  |    |
|--|----|
| <i>Ю.Г. Диникеева</i><br>Традиционные представления русских Башкортостана,<br>связанные с физическим развитием ребенка в раннем возрасте ..... | 99 |
|--|----|

---

#### ЭКОНОМИКА, СОЦИОЛОГИЯ, ФИЛОСОФИЯ

|  |     |
|--|-----|
| <i>А.Ю. Гайфуллин</i><br>Методический подход к оценке социальной устойчивости<br>территориальных образований ..... | 104 |
|--|-----|

---

#### ЯЗЫКОЗНАНИЕ И ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Ф.Ш. Сibaгатов</i><br>Арабо-тюрко-мусульманская литература Урало-Поволжского региона:<br>к проблеме изучения и актуальности темы ..... | 110 |
|---|-----|

---

# CONTENTS

---

---

2016. № 1

---

---

## PHYSICS

- A.I. Filippov, O.V. Akhmetova, A.A. Kovalskiy, M.R. Gubaydullin*  
First asymptotic approximation of the problem on orthotropic pressure field  
in heterogeneous porous media ..... 5
- D.D. Karamov, V.M. Kornilov, Y.V. Kulvelis, I.R. Nabiullin, V.A. Kraykin, I.A. Ionova*  
Research on the structure of promising polymer materials using small-angle neutron  
scattering and atomic force microscopy ..... 13
- R.F. Akhmetyanov, E.S. Shikhovtseva*  
Expansion of power potential on the basis of the generalized Heine formula ..... 24
- I.P. Popov*  
Contradictions of wave-particle generalization ..... 32
- 

## BIOLOGY, BIOCHEMISTRY AND GENETICS

- V.M. Vasyukov, N.A. Yuritsyna*  
Halophytes in the forest-steppe and steppe zones of the Volga Upland: Chenopodiaceae ..... 35
- E.V. Pikalova, L.M. Abramova, A.N. Mustafina*  
Vitality structure of natural populations of invasive species *Ambrosia trifida* L.  
in the South Cis-Urals ..... 40
- T.Yu. Korshunova, S.P. Chetverikov, E.G. Valiullin, O.N. Loginov*  
The effect of hydrocarbon-oxidizing microorganisms on oil degradation in sandy soils ..... 45
- R.A. Bilalova, L.S. Nikitina*  
Individual development of *Clematis integrifolia* L. introduced  
to the Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS ..... 52
- A.Kh. Salikhova, M.Yu. Sharipova*  
Benthic algal biodiversity of the Bolshoy Ik River at the natural park «Muradymovo Gorge» ..... 56
- B.M. Al-Bayati, E.V. Glinskaya, O.V. Nechaeva, I.O. Luneva*  
Extended spectrum beta-lactamases (ESBLs) producing *Escherichia coli* in urinary tract infection ... 62
- M.N. Stamenov*  
Ontogenetic crown transformation of *Quercus robur* L. in communities with different light level ..... 66

|   |    |
|---|----|
| <i>S.A. Khusainova, A.F. Khusainov, L.M. Abramova</i><br>Analysis of the adventive component of the flora on the railway station embankments<br>in the Republic of Bashkortostan .....        | 72 |
| <i>A.V. Suvorov, M.V. Lebedeva, S.M. Yamalov</i><br>Ordination analysis of alpine grass communities in the Sochi National Park .....  | 76 |
| <i>L.B. Vysotskaya, T.N. Arkhipova, G.R. Kudoyarova</i><br>Effect of competition and treatment with inhibitor of ethylene perception<br>on growth and hormone content of lettuce plants ..... | 81 |
| <i>E.V. Pismarkina, T.B. Silaeva</i><br>Floral materials for the Red Data Book of the Ulyanovsk region over 2015 .....  | 87 |

---

### EARTH SCIENCE

|  |    |
|--|----|
| <i>V. I. Snachev</i><br>Ore-bearing intrusive complexes in the northern Uraltau zone ..... | 92 |
|--|----|

---

### HISTORY, ARCHEOLOGY, ETHNOLOGY

|   |    |
|---|----|
| <i>Yu.G. Dinikeeva</i><br>Traditional ideas among Russians of Bashkortostan associated with early childhood<br>physical development ..... | 99 |
|---|----|

---

### ECONOMICS, SOCIOLOGY, PHILOSOPHY

|  |     |
|--|-----|
| <i>A.Yu. Gayfullin</i><br>Methodical approach to assessing social stability of territorial units ..... | 104 |
|--|-----|

---

### LINGUISTICS AND LITERARY CRITICISM

|  |     |
|--|-----|
| <i>F.Sh. Sibagatov</i><br>Turco-Arabic Islamic literature of the Volga-Ural region.<br>Research and relevance of the topic ..... | 110 |
|--|-----|

---

УДК 532.546

**ПЕРВОЕ АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПОЛЕ ДАВЛЕНИЯ  
В НЕОДНОРОДНОЙ ОРТОТРОПНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ**

© А.И. Филиппов, О.В. Ахметова, А.А. Ковальский, М.Р. Губайдуллин

На примере двухмерной задачи пьезопроводности в неоднородном анизотропном коллекторе иллюстрируется применение развитого ранее на основе теплофизических задач асимптотического метода в новой области – подземной гидродинамике.

Получены аналитические выражения, уточняющие асимптотически осредненное решение задачи о поле давления в неоднородной ортотропной пористой среде, что является основой для исследования влияния гидродинамических характеристик пласта на поле давления в пропластках с отличающимися коллекторскими свойствами.

Первый коэффициент асимптотического разложения построен с использованием добавочных условий, найденных на основе требования тривиального решения осредненной задачи для остаточного члена. Для подтверждения достоверности асимптотического решения осуществлено его сравнение с разложением точного решения в ряд Маклорена.

Успешное использование метода открывает новые возможности для решения практически важных задач о полях давления в нефтегазовых месторождениях и гидрогеологии.

Ключевые слова: поле давления, фильтрация, асимптотический метод, слоисто-неоднородный ортотропный пласт.

Определение поля давления в пласте является важной задачей подземной гидродинамики, поскольку оно определяет дебиты скважин. Кроме того, информация о полях давления в пласте позволяет оптимизировать процесс закачки воды для интенсификации разработки месторождения.

Разработанные ранее методы аналитического решения задач о поле давления в проницаемых пластах применимы в основном для однородных пористых сред [1, 2]. Для расчетов полей давления в неоднородных пластах чаще всего используются численные методы [3, 4].

При изучении полей давления проще всего использовать осредненные по толщине пласта значения. Построение осредненных полей давления и их детализация в области осреднения могут быть осуществлены на основе «в среднем точного» асимптотического метода, развитого ранее применительно к задачам теплофизики [5, 6]. Получаемые таким образом осредненные значения отличаются от интегральных средних, но предпочтительнее, поскольку более согласованы с законом сохранения массы.

Для более глубокого понимания процессов, происходящих в нефтяном пласте, необ-

---

ФИЛИППОВ Александр Иванович – д.т.н., Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, e-mail: tfmo@sspa.bashtel.ru

АХМЕТОВА Оксана Валентиновна – к.ф.-м.н., Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, e-mail: ahoksana@yandex.ru

КОВАЛЬСКИЙ Алексей Алексеевич – к.ф.-м.н., Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, e-mail: aakov68@mail.ru

ГУБАЙДУЛЛИН Марат Радикович, Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, e-mail: fir\_bmf@mail.ru

ходимо уточнение решения задачи о поле давления в неоднородной ортотропной пористой среде [7]. Предлагаемая статья является продолжением работы [7], здесь на примере двухмерной задачи показана возможность применения «в среднем точного» асимптотического метода в новом классе задач пьезопроводности.

**1. Постановка задачи для линейного течения в трехслойной ортотропной среде при постоянной депрессии** в предположении, что течение плоское, полубесконечные покрывающий и подстилающий пласты считаются слабопроницаемыми в горизонтальном направлении, а средняя область толщины 2 ( $-1 < z_d < 1$ ) является хорошо проницаемой и в горизонтальном, и в вертикальном направлениях, в безразмерном виде запишется как

$$\frac{\partial P_1}{\partial t} - \frac{\partial^2 P_1}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial t} - \frac{1}{\chi_2} \frac{\partial^2 P_2}{\partial z^2} = 0, \quad z < -1,$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{1}{\varepsilon X} \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0, \quad -1 < z < 1, \quad (1.2)$$

$$P_1|_{z=1} = P|_{z=1}, \quad P_2|_{z=-1} = P|_{z=-1}, \quad (1.3)$$

$$\left. \frac{\partial P_1}{\partial z} \right|_{z=1} = \varepsilon k_1 \left. \frac{\partial P}{\partial z} \right|_{z=1}, \quad \left. \frac{\partial P_2}{\partial z} \right|_{z=-1} = \varepsilon k_2 \left. \frac{\partial P}{\partial z} \right|_{z=-1},$$

$$P_1|_{t=0} = P_2|_{t=0} = 0, \quad (1.4)$$

$$P|_{x=0} = P_0, \quad P_1|_{x+z \rightarrow \infty} = P_2|_{x+|z| \rightarrow \infty} = P|_{x \rightarrow \infty} = 0. \quad (1.5)$$

Здесь, как и в [7], рассматривается квазистационарный случай. При обезразмеривании задачи использованы соотношения

$$t = \tau \chi_{1z} / h^2, \quad z = z_d / h, \quad x = x_d / h,$$

$$P_j = (P_{jd} - P_A + \rho gh) / P_{00}, \quad X = \chi_x / \chi_z, \quad (1.6)$$

$$\chi_2 = \chi_{1z} / \chi_{2z}, \quad k_1 = k_{z1} / k_z, \quad k_2 = k_{z2} / k_z.$$

**2. Разложение по асимптотическому параметру.** Формальное введение параметра асимптотического разложения перед первой и второй производными от  $P$  по  $z$  в задаче (1.1)–(1.5) имеет физический смысл, заключа-

ющийся в том, что устремление его к нулю  $\varepsilon \rightarrow 0$  соответствует возрастанию вертикальной компоненты проницаемости до бесконечности  $k_z \rightarrow \infty$  – «мгновенное выравнивание».

Представив искомые функции давления в виде асимптотической формулы по параметру  $\varepsilon$ :  $P_j = P_j^{(0)} + \varepsilon P_j^{(1)} + \varepsilon^2 P_j^{(2)} + \dots + \varepsilon^n P_j^{(n)} + \theta_j^{(n)}$ , где нижние индексы у безразмерного давления  $P$  относятся к номеру области, а верхние соответствуют порядковому номеру приближения, получим задачу, разбитую по степеням разложения  $\varepsilon$  [7].

Точное решение задачи для нулевого коэффициента  $P_j^{(0)}$  найдено в [7]. Выражения для нулевого коэффициента разложения в пространствах изображений и оригиналов имеют вид

$$P^{(0)u} = P_0 \exp\left(-\sqrt{M\sqrt{px}}\right),$$

$$P^{(0)} = \frac{P_0}{\sqrt{\pi t}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4t}\right) \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{Mx}}{2\sqrt{\tau}} d\tau,$$

$$P_1^{(0)u} = P_0 \exp\left(-\sqrt{M\sqrt{px}}\right) \exp\left(-\sqrt{p}(z-1)\right), \quad (2.1)$$

$$P_1^{(0)} = \frac{P_0}{\sqrt{\pi t}} \int_{z-1}^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4t}\right) \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{Mx}}{2\sqrt{\tau-(z-1)}} d\tau,$$

$$P_2^{(0)u} = P_0 \exp\left(-\sqrt{M\sqrt{px}}\right) \exp\left(\sqrt{\chi_2 p}(z+1)\right),$$

$$P_2^{(0)} = \frac{P_0}{\sqrt{\pi t}} \int_{|z+1|\chi_2}^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4t}\right) \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{Mx}}{2\sqrt{\tau-|z+1|\chi_2}} d\tau$$

соответственно и описывают осредненные по толщине значения поля давления в центральном пласте и детальные распределения давления в окружающих породах. Здесь  $M = (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2}) / 2X$ .

Для уточнения значений полей в зоне усреднения необходимо решить задачу для первого коэффициента разложения.

**3. Решение задачи в первом приближении.** Из разбитой по степеням параметра задачи [7] при  $\varepsilon^1$  получим постановку задачи для первого коэффициента разложения

$$\frac{\partial P_1^{(1)}}{\partial t} - \frac{\partial^2 P_1^{(1)}}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial P_2^{(1)}}{\partial t} - \frac{1}{\chi_2} \frac{\partial^2 P_2^{(1)}}{\partial z^2} = 0, \quad z < -1,$$

$$\frac{\partial^2 P^{(1)}}{\partial x^2} + \frac{1}{X} \frac{\partial^2 P^{(2)}}{\partial z^2} = 0, \quad (3.2)$$

$$P_1^{(1)} \Big|_{z=1} = P^{(1)} \Big|_{z=1}, \quad P_2^{(1)} \Big|_{z=-1} = P^{(1)} \Big|_{z=-1},$$

$$k_1 \frac{\partial P_1^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=1} = \frac{\partial P^{(2)}}{\partial z} \Big|_{z=1}, \quad k_2 \frac{\partial P_2^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=-1} = \frac{\partial P^{(2)}}{\partial z} \Big|_{z=-1}, \quad (3.3)$$

$$P_1^{(1)} \Big|_{t=0} = P_2^{(1)} \Big|_{t=0} = P^{(1)} \Big|_{t=0} = 0, \quad (3.4)$$

$$P^{(1)} \Big|_{x=0} = 0, \quad (3.5)$$

$$P_1^{(1)} \Big|_{x \rightarrow \infty} = P_2^{(1)} \Big|_{x \rightarrow \infty} = P^{(1)} \Big|_{x \rightarrow \infty} = 0.$$

В задаче (3.1)–(3.5) уравнение (3.2) является «зацепленным» в том смысле, что содержит первый и второй коэффициенты асимптотического разложения. Далее иллюстрируется процедура «расцепления» уравнения (3.2). При этом использовано представление первого коэффициента в виде квадратного трехчлена [7]

$$P^{(1)} = \frac{z^2}{2} A(t, x) + zB(t, x) + C(t, x), \quad (3.6)$$

$$P^{(1)u} = \frac{z^2}{2} A^u(p, x) + zB^u(p, x) + C^u(p, x).$$

Здесь  $A(t, x)$ ,  $B(t, x)$  известны:

$$A(t, x) = \frac{1}{2} \left( k_1 \frac{\partial P_1^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=1} - k_2 \frac{\partial P_2^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=-1} \right), \quad (3.7)$$

$$B(t, x) = \frac{1}{2} \left( k_1 \frac{\partial P_1^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=1} + k_2 \frac{\partial P_2^{(0)}}{\partial z} \Big|_{z=-1} \right),$$

а  $C(t, x)$  – неизвестный функциональный коэффициент, подлежащий определению.

Подставляя (3.6) в (3.2), получим

$$\frac{\partial^2 P^{(2)}}{\partial z^2} = -X \left( \frac{z^2}{2} \frac{\partial^2 A(t, x)}{\partial x^2} + z \frac{\partial^2 B(t, x)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C(t, x)}{\partial x^2} \right). \quad (3.8)$$

Проинтегрировав (3.8) по  $z$  и воспользовавшись условиями (3.3), найдем выражение для определения  $C(t, x)$

$$\frac{\partial^2 C(t, x)}{\partial x^2} = -\frac{1}{2X} \left( k_1 \frac{\partial P_1^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=1} - k_2 \frac{\partial P_2^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=-1} \right) - \frac{1}{6} \frac{\partial^2 A(t, x)}{\partial x^2}. \quad (3.9)$$

Из (3.6) и (3.9) следует «расцепленное» уравнение для определения  $P^{(1)}$

$$\frac{\partial^2 P^{(1)}}{\partial x^2} = \left( \frac{z^2}{2} - \frac{1}{6} \right) \frac{\partial^2 A(t, x)}{\partial x^2} + z \frac{\partial^2 B(t, x)}{\partial x^2} - \frac{1}{2X} \left( k_1 \frac{\partial P_1^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=1} - k_2 \frac{\partial P_2^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=-1} \right). \quad (3.10)$$

Задача для  $P^{(1)}$  включает также следующие уравнения и соотношения:

$$\frac{\partial P_1^{(1)}}{\partial t} - \frac{\partial^2 P_1^{(1)}}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial P_2^{(1)}}{\partial t} - \frac{1}{\chi_2} \frac{\partial^2 P_2^{(1)}}{\partial z^2} = 0, \quad z < -1,$$

$$P_1^{(1)} \Big|_{z=1} = P^{(1)} \Big|_{z=1}, \quad P_2^{(1)} \Big|_{z=-1} = P^{(1)} \Big|_{z=-1}, \quad (3.12)$$

$$P_1^{(1)} \Big|_{t=0} = P_2^{(1)} \Big|_{t=0} = 0, \quad (3.13)$$

$$P^{(1)} \Big|_{x=0} = 0, \quad (3.14)$$

$$P_1^{(1)} \Big|_{x \rightarrow \infty} = P_2^{(1)} \Big|_{x \rightarrow \infty} = P^{(1)} \Big|_{x \rightarrow \infty} = 0.$$

Подставив в (3.6) выражения (2.1) и (3.7), нетрудно установить, что требование выполнения условия  $P^{(1)} \Big|_{x=0} = 0$  приводит к тривиальному решению задачи; если же это условие отбросить, то не удастся получить единственное решение. Таким образом, для получения единственного нетривиального решения задачи условие (3.14) следует ослабить и заменить среднеинтегральным условием, полученным из анализа задачи для остаточного члена.

#### 4. Задача для остаточного члена.

Подставив асимптотическую формулу  $P_j = P_j^{(0)} + \varepsilon P_j^{(1)} + \theta_j^{(1)}$  в параметризованную задачу, получим

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial t} - \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1, \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial t} - \frac{1}{\chi_2} \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial z^2} = 0, \quad z < -1,$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{1}{\varepsilon X} \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = - \frac{\partial^2 P^{(1)}}{\partial x^2}, \quad (4.2)$$

$$\theta_1|_{z=1} = \theta|_{z=1}, \quad \theta_2|_{z=-1} = \theta|_{z=-1}, \quad (4.3)$$

$$\varepsilon k_1 \frac{\partial P_1^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=1} + \varepsilon k_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial z} \Big|_{z=1} = \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=1},$$

$$\varepsilon k_2 \frac{\partial P_2^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=-1} + \varepsilon k_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial z} \Big|_{z=-1} = \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=-1}, \quad (4.4)$$

$$\theta_1|_{t=0} = \theta_2|_{t=0} = \theta|_{t=0} = 0,$$

$$P^{(1)} \Big|_{x=0} + \theta \Big|_{x=0} = 0, \quad (4.5)$$

$$\theta_1|_{x \rightarrow \infty} = \theta_2|_{x \rightarrow \infty} = \theta|_{x \rightarrow \infty} = 0.$$

В постановке (4.1)–(4.5) верхний индекс у остаточного члена для простоты опущен. Задача (4.1)–(4.5) по сложности сопоставима с исходной. Однако можно определить условия, при которых осредненная задача для остаточного члена имеет тривиальное решение. Усредним (4.1)–(4.5) в интервале центрального пласта, применив интегральную процедуру

$$\langle \theta \rangle = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 \theta dz.$$

С учетом условий (4.3), (3.3) и выражения (3.2), осредненная постановка задачи для остаточного члена примет вид

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial t} - \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1,$$

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial t} - \frac{1}{\chi_2} \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial z^2} = 0, \quad z < -1, \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial^2 \langle \theta \rangle_a}{\partial x^2} + \frac{1}{X} \left( k_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial z} \Big|_{z=1} - k_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial z} \Big|_{z=-1} \right) = 0, \quad (4.7)$$

$$\theta_1|_{z=1} = \langle \theta \rangle_a|_{z=1}, \quad \theta_2|_{z=-1} = \langle \theta \rangle_a|_{z=-1}, \quad (4.8)$$

$$\theta_1|_{t=0} = \theta_2|_{t=0} = \langle \theta \rangle_a|_{t=0} = 0, \quad (4.9)$$

$$\varepsilon \langle P^{(1)} \rangle_{x=0} + \langle \theta \rangle_a|_{x=0} = 0, \quad (4.10)$$

$$\theta_1|_{x \rightarrow \infty} = \theta_2|_{x \rightarrow \infty} = \langle \theta \rangle_a|_{x \rightarrow \infty} = 0.$$

Из (4.10) следует, что осредненная задача для остаточного члена имеет только нулевое решение, если среднеинтегральное значение первого коэффициента на оси  $z$  обращается в нуль  $\langle P^{(1)} \rangle_{x=0} = 0$ . Ниже показано, что при добавлении условия  $\langle P^{(1)} \rangle_{x=0} = 0$  вместо  $P^{(1)}|_{x=0} = 0$  задача для первого коэффициента разложения имеет единственное решение. Поскольку осредненное значение остаточного члена при этом равно нулю, то построенное решение является в некотором смысле «в среднем точным» асимптотическим решением.

**5. Решение задачи для первого коэффициента разложения.** Решение (3.10)–(3.14) с условием  $\langle P^{(1)} \rangle_{x=0} = 0$  отыскивается в виде (3.6) в пространстве изображений Лапласа – Карсона, при этом постановка задачи приводится к виду

$$P_1^{(1)u} p - \frac{\partial^2 P_1^{(1)u}}{\partial z^2} = 0, \quad z > 1,$$

$$P_2^{(1)u} p - \frac{1}{\chi_2} \frac{\partial^2 P_2^{(1)u}}{\partial z^2} = 0, \quad z < -1, \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial^2 P^{(1)u}}{\partial x^2} = \left( \frac{z^2}{2} - \frac{1}{6} \right) \frac{\partial^2 A^u(p, x)}{\partial x^2} + z \frac{\partial^2 B^u(p, x)}{\partial x^2} -$$

$$- \frac{1}{2X} \left( k_1 \frac{\partial P_1^{(1)u}}{\partial z} \Big|_{z=1} - k_2 \frac{\partial P_2^{(1)u}}{\partial z} \Big|_{z=-1} \right), \quad (5.2)$$

$$P_1^{(1)u} \Big|_{z=1} = P^{(1)u} \Big|_{z=1}, \quad P_2^{(1)u} \Big|_{z=-1} = P^{(1)u} \Big|_{z=-1},$$

$$\langle P^{(1)} \rangle^u \Big|_{x=0} = 0, \quad (5.3)$$

$$P_1^{(1)u} \Big|_{x \rightarrow \infty} = P_2^{(1)u} \Big|_{x \rightarrow \infty} = P^{(1)u} \Big|_{x \rightarrow \infty} = 0.$$

Решения уравнений (5.1) при условии (5.3) записываются в форме



$$\begin{aligned} P_1^{(1)u} &= \exp\left(\sqrt{p}(1-z)\right) P^{(1)u} \Big|_{z=1}, \\ P_2^{(1)u} &= \exp\left(\sqrt{\chi_2 p}(1+z)\right) P^{(1)u} \Big|_{z=-1}. \end{aligned} \quad (5.4)$$

Для нахождения функционального коэффициента  $C^u(p, x)$ , из (5.4) определим следы производных из внешних областей

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_1^{(1)u}}{\partial z} \Big|_{z=1} &= -\sqrt{p} P^{(1)u} \Big|_{z=1}, \\ \frac{\partial P_2^{(1)u}}{\partial z} \Big|_{z=-1} &= \sqrt{\chi_2 p} P^{(1)u} \Big|_{z=-1}, \end{aligned} \quad (5.5)$$

тогда уравнение (3.9) или (5.2) примет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 C^u(p, x)}{\partial x^2} - \sqrt{p} M C^u(p, x) &= \\ = -\frac{p P_0}{4X} \left[ \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2})^2 + (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2})^2 \right] \times & (5.6) \\ \times \exp\left(-\sqrt{M \sqrt{p} x}\right). \end{aligned}$$

Регулярное на бесконечности решение (5.6) представляется в виде  $C^u(p, x) = (L + Nx) \exp\left(-\sqrt{M \sqrt{p} x}\right)$ , где

$$N = \frac{P_0 p^{\frac{3}{4}}}{8X\sqrt{M}} \left[ \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2})^2 + (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2})^2 \right],$$

а  $L$  определяется из среднеинтегрального условия, представленного в виде

$$\begin{aligned} \langle P^{(0)u} \rangle \Big|_{x=0} &= A^u(p, 0)/6 + C^u(p, 0) = 0: \\ L &= \frac{P_0 \sqrt{p}}{12} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2}). \end{aligned}$$

Таким образом, выражение для первого коэффициента разложения функции, определяющей поле давления в пласте, имеет вид

$$\begin{aligned} P^{(1)u} &= \frac{P_0}{2} \left[ \left( \frac{1}{6} - \frac{z^2}{2} \right) (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2}) - z (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2}) \right] \times \\ &\times \sqrt{p} \exp\left(-\sqrt{M \sqrt{p} x}\right) + \\ &+ \frac{P_0 x}{8X\sqrt{M}} \left[ (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2})^2 + \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2})^2 \right] \times \\ &\times p^{\frac{3}{4}} \exp\left(-\sqrt{M \sqrt{p} x}\right). \end{aligned} \quad (5.7)$$

Из (5.7), (5.4) получим

$$\begin{aligned} P_1^{(1)u} &= \left\{ -\frac{P_0}{2} \left[ \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2}) + (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2}) \right] \sqrt{p} + \right. \\ &+ \frac{P_0 x}{8X\sqrt{M}} \left[ (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2})^2 + \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2})^2 \right] p^{\frac{3}{4}} \Big\} \times \\ &\times \exp\left(-\sqrt{M \sqrt{p} x} - \sqrt{p}(z-1)\right). \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} P_2^{(1)u} &= \left\{ -\frac{P_0}{2} \left[ \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2}) - (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2}) \right] \sqrt{p} + \right. \\ &+ \frac{P_0 x}{8X\sqrt{M}} \left[ (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2})^2 + \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2})^2 \right] p^{\frac{3}{4}} \Big\} \times \\ &\times \exp\left(-\sqrt{M \sqrt{p} x} + \sqrt{\chi_2 p}(z+1)\right). \end{aligned} \quad (5.9)$$

Воспользовавшись справочником по операционному исчислению [8], получим точное решение задачи (5.1)–(5.5) в пространстве оригиналов:

$$\begin{aligned} P^{(1)} &= \left[ \left( \frac{1}{6} - \frac{z^2}{2} \right) (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2}) - z (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2}) \right] \times \\ &\times \frac{P_0}{2\sqrt{\pi t}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4t}\right) \Psi(\sqrt{M} x, \tau) d\tau + \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} &+ \left[ (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2})^2 + \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2})^2 \right] \times \\ &\times \frac{P_0}{8X\pi M \sqrt{t}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4t}\right) \Psi(\sqrt{M} x, \tau) \left( \frac{Mx^2}{2\tau} - 1 \right) d\tau, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1^{(1)} &= -\left[ \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2}) + (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2}) \right] \times \\ &\times \frac{P_0}{2\sqrt{\pi t}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4t}\right) \Psi(\sqrt{M} x, \tau - z + 1) \Phi(\tau - z + 1) d\tau + \\ &+ \left[ (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2})^2 + \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2})^2 \right] \times \end{aligned} \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} &\times \frac{P_0}{8X\pi M \sqrt{t}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4t}\right) \Psi(\sqrt{M} x, \tau - z + 1) \times \\ &\times \left( \frac{Mx^2}{2(\tau - z + 1)} - 1 \right) \Phi(\tau - z + 1) d\tau \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2^{(1)} = & - \left[ \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2}) - (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2}) \right] \times \\
 & \times \frac{P_0}{2\sqrt{\pi t}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4t}\right) \Psi(\sqrt{M}x, \tau - \sqrt{\chi_2}|z+1|) \times \\
 & \times \Phi(\tau - \sqrt{\chi_2}|z+1|) d\tau + \quad (5.12) \\
 & + \left[ (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2})^2 + \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2})^2 \right] \frac{P_0}{8X\pi M \sqrt{t}} \times \\
 & \exp\left(-\frac{\tau^2}{4t}\right) \Psi(\sqrt{M}x, \tau - \sqrt{\chi_2}|z+1|) \times \\
 & \times \int_0^\infty \left( \frac{Mx^2}{2(\tau - \sqrt{\chi_2}|z+1|)} - 1 \right) \Phi(\tau - \sqrt{\chi_2}|z+1|) d\tau.
 \end{aligned}$$

В справедливости полученных выражений нетрудно убедиться прямой подстановкой выражений в задачу для первого коэффициента асимптотического разложения. В частных случаях решения (5.10)–(5.12) совпадают с найденными ранее [9, 10].

Точное решение для поля давления в центральной области, полученное в [7], в пространстве синус-образов Фурье имеет вид

$$P^{II} = \frac{P_0}{s} \left[ 1 - \frac{\alpha \text{ch}\gamma(z+1) + \beta \text{ch}\gamma(z-1) + 2\alpha\beta \text{sh}\gamma \text{ch}(\gamma z)}{(\alpha + \beta) \text{ch}2\gamma + (\alpha\beta + 1) \text{sh}2\gamma} \right], \quad (5.13)$$

где  $\alpha = \frac{\sqrt{\varepsilon p} k_1}{s\sqrt{X}}$ ,  $\beta = \frac{k_2}{s} \sqrt{\frac{\varepsilon p \chi_2}{X}}$ ,  $\gamma = s\sqrt{\varepsilon X}$ .

Легко убедиться, что первый коэффициент разложения точного решения в ряд Маклорена по асимптотическому параметру представляется выражением

$$\begin{aligned}
 \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\partial P^{II}}{\partial \varepsilon} = & \frac{P_0}{2} \left( \left( \frac{1}{6} - \frac{z^2}{2} \right) (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2}) - \right. \\
 & \left. - z(k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2}) \right) \times \\
 & \times \frac{s\sqrt{p}}{M\sqrt{p+s^2}} + \frac{P_0 p}{4X} \left[ \frac{1}{3} (k_1 + k_2 \sqrt{\chi_2})^2 + \right. \\
 & \left. + (k_1 - k_2 \sqrt{\chi_2})^2 \right] \frac{s}{(M\sqrt{p+s^2})^2}, \quad (5.14)
 \end{aligned}$$

которое является синус-образом Фурье решения задачи в первом асимптотическом приближении (5.7). Такое совпадение доказывает справедливость развитого нами метода.

На рис. представлены зависимости относительного давления в пласте от вертикальной координаты при различных значениях горизонтальной координаты: 1, 2 –  $x = 1$ ; 3, 4 – 2; 5, 6 – 5 для нулевого и первого асимптотических приближений. Другие расчетные параметры:  $X = 1$ ,  $k_1 = 0.3$ ,  $k_2 = 0.7$ ,  $\chi_2 = 1$ ,  $t = 10$ ,  $P_0 = 1$ .

Сопоставление зависимостей относительного давления в пласте в нулевом и первом приближениях на рис. иллюстрирует их главные особенности: нулевое приближение представляет основную часть осредненного в центральном слое возмущенного давления, а первый коэффициент составляет главную часть поправки, обеспечивающей детальное описание поля в зоне осреднения.

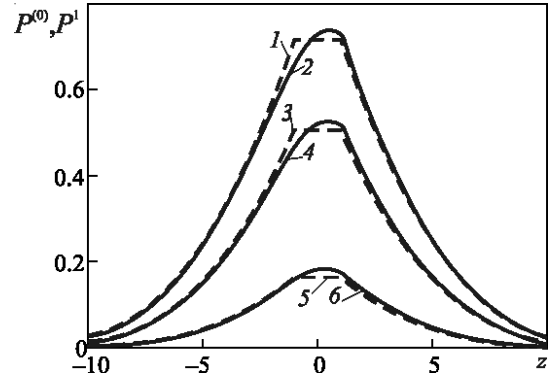


Рис. Зависимости относительного давления в пласте от вертикальной координаты при различных значениях горизонтальной координаты: 1, 2 –  $x = 1$ ; 3, 4 – 2; 5, 6 – 5

Поскольку согласно принятым значениям параметров значение проницаемости покрывающих пород более чем в два раза ниже проницаемости подстилающих пород, то асимметрия кривых представлена сдвигом максимума давления в сторону больших  $z$  относительно центра и повышенными значениями давления в области положительных значений  $z$ .

Итак, применение «в среднем точной» модификации асимптотического метода к задаче о фильтрационном поле в неоднородной анизотропной среде позволяет найти простые аналитические выражения для первого асимп-

тотического приближения в практически важных задачах и значительно расширяет аппарат подземной гидродинамики. Это открывает перспективы для решения других задач о фильтрации в неоднородной пористой среде.

#### Список обозначений

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – полутолщины пласта, м;

$k$  – проницаемость, м<sup>2</sup>;

$t$  – безразмерное время;

$P$  – безразмерное давление;

$P_{01}$  – характерный перепад давления, Па;

$P_A$  – атмосферное давление, Па;

$P_d$  – размерное давление, Па;

$\tau$  – время, с;

$z, x$  – безразмерные координаты;

$z_d, x_d$  – координаты, м;

$\varepsilon$  – параметр асимптотического разложения;

$\rho$  – плотность флюида, кг/м<sup>3</sup>;

$\chi$  – пьезопроводность, м<sup>2</sup>/с;

Индексы нижние: 0 – начальные значения параметров, 1, 2 – номера сред,  $z, x$  – направление.

Индексы верхние (в скобках) – порядковый номер коэффициента асимптотического разложения. Обозначения математических символов – общепринятые.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 628 с.

2. Чарный И. А. Подземная газогидродинамика. М.: Гостоптехиздат, 1963. 396 с.

3. Голубев Г.В. Численное решение задачи определения поля давлений в неоднородном трещиновато-пористом пласте // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2003. № 4. С. 26–30.

4. Битов В.М., Чехонин Е.М. Поле давления вокруг скважины в слоисто-неоднородном пласте // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2007. № 1. С. 83–90.

5. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Родионов А.С. Температурное поле турбулентного потока в скважине // Теплофизика высоких температур. 2013. Т. 51, № 2. С. 277–286.

6. Ахметова О.В., Крупинов А.Г. Расчеты поля давления стационарного потока газа в скважине // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7, № 11. С. 133–138.

7. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Губайдуллин М.Р. Асимптотически осредненное решение задачи о поле давления в слоисто-неоднородной по-

ристой среде // Нефтегазовое дело. 2015. № 3. С. 693–712.

8. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. М.: Высшая школа, 1965. 466 с.

9. Ахметова О.В., Филиппов А.И., Филиппов И.М. Квазистационарные поля давления при линейной фильтрации в неоднородном анизотропном пласте в асимптотическом приближении // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2012. № 3. С. 89–100.

10. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Филиппов И.М. Фильтрационное поле давления в неоднородном пласте при постоянном отборе // Инженерно-физический журнал. 2012. Т. 85, № 1. С. 3–17.

#### References

1. Masket M. The flow of homogeneous fluids through porous media. Russian edition. Moscow – Izhevsk, Institute of Computer Studies, 2004. 628 p.

2. Charnyy I.A. Subsurface hydrodynamics. Moscow, Gostoptekhizdat, 1963. 396 p.

3. Golubev G.V. Numerical solution for the problem of determining pressure field in a fissured-porous heterogeneous reservoir. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva, 2003, no. 4, pp. 26–30.

4. Entov V.M., Chekhonin E.M. Pressure field around a well in a stratified inhomogeneous bed. Izvestiya Rossiyskoy Akademii nauk. Mekhanika zhidkosti i gaza, 2007, no. 1, pp. 83–90.

5. Filippov A.I., Akhmetova O.V., Rodionov A.S. Temperature field of turbulent flow in a well. Teplofizika vysokikh temperatur, 2013, vol. 51, no. 2, pp. 277–286.

6. Akhmetova O.V., Krupinov A.G. The pressure field calculations of steady-state gas flow in a well. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2011, vol. 7, no. 11, pp. 133–138.

7. Filippov A.I., Akhmetova O.V., Gubaydullin M.P. Asymptotically averaging solving the problem of the pressure field in layered porous medium. Elektronnyy nauchnyy zhurnal. Neftgazovoe delo, 2015, no. 3, pp. 693–712.

8. Ditkin V.A., Prudnikov A.P. Handbook of operational calculus. Moscow, Vysshaya shkola, 1965. 466 p.

9. Akhmetova O.V., Filippov A.I., Filippov I.M. Quasi-steady-state pressure fields in linear flow through a porous inhomogeneous anisotropic reservoir in the asymptotic approximation. Izvestiya Rossiyskoy Akademii nauk. Mekhanika zhidkosti i gaza, 2012, no 3, pp. 89–100.

10. Filippov A.I., Akhmetova O.V., Filippov I.M. Filtration pressure field in an inhomogeneous bed in constant drainage. Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal, 2012, vol. 85, no. 1, pp. 3–17.



## **FIRST ASYMPTOTIC APPROXIMATION OF THE PROBLEM ON ORTHOTROPIC PRESSURE FIELD IN HETEROGENEOUS POROUS MEDIA**

© **A.I. Filippov, O.V. Akhmetova, A.A. Kovalskiy, M.R. Gubaydullin**

Sterlitamak Branch of the Bashkir State University,  
49, prospekt Lenina, 453103, Sterlitamak, Russian Federation

Taking the example of the 2D piezo-conductivity problem in a heterogeneous anisotropic reservoir, we illustrate a new application area of the asymptotic method developed previously on the basis of thermophysical property problems, namely, subsurface hydrodynamics.

Thus, we derived analytical expressions specifying an asymptotically averaged solution of the problem on pressure field in a heterogeneous orthotropic porous medium to serve as the basis for studying the effect of reservoir hydrodynamic characteristics on pressure in the interbeds with different reservoir properties.

The first coefficient of the asymptotic expansion was calculated using additional conditions found on the basis of the requirement of the trivial solution of the averaged problem for the remainder term. To confirm the reliability of the asymptotic solution, we made its comparison with the Maclaurin expansion of the exact solution.

The successful use of this method opens up new possibilities for solving important practical problems on pressure fields in oil and gas accumulations and hydrogeology.

Key words: pressure field, filtration, asymptotic method, stratified heterogeneous orthotropic reservoir.

УДК 538.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ И АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

© Д.Д. Карамов, В.М. Корнилов, Ю.В. Кульвеллис,  
И.Р. Набиуллин, В.А. Крайкин, И.А. Ионова

Представлены результаты экспериментальных исследований надмолекулярной структуры полимерных слоев субмикронных пленок полидифениленфталата методами атомно-силовой микроскопии и малоуглового рассеяния нейтронов. Установлено, что полимерные пленки обладают внутренней структурой, причем структурные элементы имеют форму сфероидов. Размеры структурных элементов, полученные из данных по рассеянию нейтронов и из анализа АСМ-изображений, хорошо коррелируют между собой. Предложена модель формирования полимерных слоев, обусловленная наличием ассоциатов в исходном растворе.

Ключевые слова: тонкие пленки, надмолекулярная структура, полимеры, атомно-силовая микроскопия, малоугловое рассеяние нейтронов.

**Введение.** Потенциал полимерных материалов в плане фундаментальных научных исследований и практических приложений необычайно велик.

Прогноз развития научных и технологических направлений, имеющих значительный прикладной потенциал в долгосрочной перспективе, представленный институтами РАН, содержит следующую оценку развития науки о полимерах [1].

«Наиболее перспективными представляются следующие направления:

– молекулярный дизайн и синтез сополимеров с определенной структурой, обеспечивающей заданные физико-химические свойства и структуру сополимера;

– создание функциональных «управляемых» полимерных систем с контролируемы-ми электрооптическими и адсорбционными

свойствами, а также проницаемостью, способных воспроизводимо изменять свою функцию в ответ на сигнал внешней среды: изменения температуры, освещенности, состава среды, напряженности электрического или магнитного поля;

– разработка совместимых с окружающей средой методов синтеза полимеров массового спроса (зеленая химия);

– синтез ароматических карбо- и гетероциклических полимеров».

В цитируемом документе особо выделяется сравнительно новый класс полимеров – полигетероарилены (ПГА). «ПГА являются уникальным семейством полимеров, гарантирующих эксплуатацию изделий на их основе при температурах 300–600°C как на воздухе, так и в агрессивных средах. Наибольшее значение они имеют для аэрокосмической отрас-

КАРАМОВ Данфис Данисович, Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: karamov\_danf@bk.ru

КОРНИЛОВ Виктор Михайлович – д.ф.-м.н., Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, e-mail: kornilov@anrb.ru

НАБИУЛЛИН Ильсур Рашитович – к.ф.-м.н., Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, e-mail: ilsurufa82@mail.ru

КУЛЬВЕЛИС Юрий Викторович – к.ф.-м.н., Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, e-mail: kulvelis@pnpi.spb.ru

КРАЙКИН Владимир Александрович – д.х.н., Уфимский институт химии РАН, e-mail: kraikin@anrb.ru

ИОНОВА Ирина Андреевна, Уфимский институт химии РАН, e-mail: kraikin@anrb.ru

ли, электроники и фотоэлектроники, электротехники, а в последнее время и для водородной энергетики».

Одним из очень интересных представителей класса ПГА является полидифениленфталид (ПДФ). Это термо- и хемостойкий полимер, обладающий хорошими пленкообразующими свойствами [2]. Кроме того, в субмикронных пленках ПДФ обнаруживаются необычные электрофизические свойства – в них наблюдаются эффекты переключения в высокопроводящее состояние. Такие эффекты исследуются более 50 лет в разных классах объектов, в том числе в халькогенидных стеклообразных полупроводниках, аморфных пленках окислов, органических, включая и полимерные материалы. Очевидна перспективность использования в электронике тонкопленочных элементов, электропроводящим состоянием которых можно управлять с помощью небольшого внешнего воздействия.

Полимерные электроактивные материалы и структуры на их основе активно используются как активные компоненты гибкой электроники в различных направлениях от систем отображения информации до транзисторов и сенсоров различных физических полей и воздействий. В работе [3] обобщены результаты исследования электрофизических свойств тонких пленок полимеров класса полигетероариленов в виде гетероструктур металл/полимер/металл. В таких структурах резистивное переключение может быть инициировано малыми внешними воздействиями, причем не только электрическим полем, но и одноосным давлением, термоионизацией ловушек, электронным или ионным облучением, изменением граничных условий на границе раздела металл-полимер, магнитным полем. Особенность этих явлений заключается в том, что все они наблюдаются в относительно тонких пленках (от 10 до  $\sim 10^3$  nm). Более толстые пленки обладают свойствами, присущими диэлектрическим пленкам. Среди полигетероариленов наиболее детально исследован полимер полидифениленфталид (ПДФ).

Можно предположить, что помимо роли интерфейсов типа металл (полупроводник)/

полимер, существенную роль может играть структура и морфология пленок. Известно, что поверхностность полимерного материала по своим свойствам может существенным образом отличаться от объема. Поверхностный слой полимерных структур формируется за счет взаимодействия с твердой поверхностью, газообразной или жидкой средой при стремлении системы к минимуму энергии Гиббса. Такая поверхность обладает совершенно иным от объемного порядком полимерных цепей, вследствие чего проявляются особые свойства, наблюдающиеся, например, необычные электрофизические свойства полимера вдоль границ раздела полимер-полимер [4]. Одним из условий возникновения этих свойств, возможно, является наличие дипольного поверхностного упорядочения молекулярных групп, входящих в состав материала. Из анализа электропроводности и подвижности носителей заряда, проведенной в работе, следует, что 2D-структура, возникающая вдоль контакта двух диэлектрических полимерных пленок, обладает аномально высокой проводимостью в отличие от объемной. Для объяснения обнаруженного явления, вызванного дипольным упорядочением функциональных групп, авторы используют предположение о спонтанной поверхностной поляризации полимерной пленки.

Следует иметь в виду, что явления, наблюдаемые в субмикронных полимерных пленках и гетероструктурах на их основе, могут в значительной степени быть обусловлены внутренним строением пленок и возрастанием роли поверхностной энергии. Использование методов просвечивающей электронной микроскопии и электронной дифракции [5] показали, что пленки ПДФ аморфные, сплошные, однородные, не имеют пор и посторонних включений. В то же время результаты поляризационно-оптических исследований обнаружили относительно большую анизотропию показателя преломления ( $\Delta n \sim 10^{-2}$ ) в направлении, перпендикулярном плоскости пленки. Это противоречие, по-видимому, обусловлено особенностями использованных методов и суще-

ственно разным диапазоном толщин пленок. В одном случае это были пленки толщиной около 10 nm, а оптические исследования проводились для пленок толще 30  $\mu\text{m}$ . Очевидно, что этих данных недостаточно для того, чтобы интерпретировать указанное противоречие и для понимания роли структуры в зависимости электронных свойств полимерных пленок от толщины.

**Исследование тонких полимерных пленок методами атомно-силовой микроскопии и малоуглового рассеяния нейтронов.** В этом разделе представлены результаты экспериментального исследования поверхности и внутреннего строения полимерных пленок полидифениленфталида в субмикронной области толщин. Такой подход является частью более общей задачи установления закономерности «состав-структура-свойства» при исследовании электрофизических свойств тонких полимерных пленок.

В качестве объекта исследований был выбран полимер из класса полигетероариленов – полидифениленфталид (ПДФ) с полярными функциональными группами. ПДФ имеет молекулярный вес  $\sim 50\,000\text{--}70\,000\text{ g/mol}$ , в зависимости от условий синтеза. Средняя линейная длина молекулы составляет  $\sim 100\text{--}150\text{ nm}$ . Полимер термостойкий – температура размягчения  $\sim 420^\circ\text{C}$ , температура начала разложения  $\sim 440^\circ\text{C}$ . Он растворим в традиционных органических растворителях: хлороформе, метилендихлориде, циклогексаноне и т. д., что позволяет проводить его эффективную очистку от примесей. В обычном состоянии ПДФ является диэлектриком и характеризуется следующими параметрами: ширина запрещенной зоны  $\sim 4.3\text{ eV}$ , электронное сродство  $\sim 2\text{ eV}$ , первый потенциал ионизации  $\sim 6.2\text{ eV}$  [3, 6].

Полимерные пленки изготавливались на полированных подложках из кремния и нержавеющей стали. Выбор подложек был обусловлен интересом с точки зрения пленкообразования на материалах с различной шероховатостью поверхности и различной адгезией полимера к материалу подложки, что принципиально важно при исследовании элек-

трофизических свойств субмикронных полимерных пленок.

Толщина пленок задавалась весовой концентрацией полимера в растворителе – циклогексаноне. В эксперименте использовались растворы полимера концентрацией от 0.1 до 10%, что позволило получать полимерные пленки толщиной от 5 nm до 1.3  $\mu\text{m}$  методом центрифугирования. Образцы выдерживались на воздухе при комнатной температуре в течение 45 мин. Окончательная сушка производилась при температуре  $150^\circ\text{C}$  в течение 30 мин.

Исследования методом атомно-силовой микроскопии проводились на сканирующем мультимикроскопе СММ-2000Т в контактной моде. Методики сканирующей зондовой микроскопии базируются на возможности получать информацию о рельефе поверхности как функции  $z = f(x, y)$  с представлением в виде числовой матрицы. Эта информация может быть представлена в виде двумерного или трехмерного изображения, а также обработана математическими методами для определения различных параметров исследуемого объекта. Возможности математической обработки заложены в программном обеспечении микроскопа.

Для определения толщины пленок в них создавалось углубление до поверхности подложки при помощи медного микрорезака. Стенка углубления представляет собой ступеньку с высотой, равной искомой толщине. Истинная морфология участка поверхности со ступенькой воспроизводится в виде АСМ-изображения, на котором появляется возможность построения профиля сечения поверхности. На таком профиле автоматически рассчитывается ряд геометрических параметров объекта. Устанавливая в нужном месте профиля измерительные линии, можно определять расстояние между деталями объекта и разброс высот между точками пересечения измерительных линий с линией профиля.

При анализе внутреннего строения исследуемых пленок использовалась программа для работы с объектами. Она предназна-

чена для выделения на изображении объектов, проведения с ними морфологических операций, расчета характеристик выделенных объектов, выполнения статистической обработки совокупности выделенных объектов, выделения по заданному пользователем набору критериев подмножеств объектов и определения их характеристик.

Малоугловое рассеяние (МУР) рентгеновских лучей и нейтронов является одним из наиболее эффективных методов изучения надатомной структуры вещества. Метод заключается в измерении и анализе кривых сечения рассеяния  $d\Sigma/d\Omega$  в зависимости от переданного импульса  $q$ . Основные формулы, связывающие сечение рассеяния со структурой объекта, определяются рассеивающей способностью неоднородностей, их формой и контрастом по отношению к основной матрице. Важной особенностью метода является возможность анализа внутреннего строения разупорядоченных систем, что позволяет эффективно использовать его в физико-химии дисперсного состояния, молекулярной биофизике и физике полимеров для получения прямой структурной информации о неоднородностях нанометрового масштаба.

Полимерные материалы как объект исследования методом МУР обладают рядом специфических особенностей. Макромолекулы в растворе представляют собой рыхлые статистические клубки, которые могут объединяться в ассоциаты. Формирование полимерного слоя в конденсированной фазе и его структура так или иначе обусловлены технологическими процессами, использованными при изготовлении слоя. Кроме того, многие полимерные образцы полидисперсны – они состоят из макромолекул с различной молекулярной массой.

Интерпретация данных МУР часто требует дополнительной информации о строении объекта, полученной независимыми методами. В качестве такого дополнительного инструмента для изучения субмикронных пленок целесообразен выбор методик атомно-силовой микроскопии (АСМ). Использо-

вание методов АСМ позволяет охарактеризовать полимерный слой с точки зрения пленкообразования, однородности, шероховатости, возможной деградации при механическом, термическом и химическом воздействии, достаточно быстро набирать необходимую статистику, определять метрологические параметры объектов благодаря математической обработке изображений. Для исследования методом малоуглового рассеяния нейтронов был изготовлен образец в виде стопки из 1000 тонких пленок ПДФ общей толщиной порядка 1  $\mu\text{m}$ . Образец изготавливали следующим образом. Капля 4% раствора полимера в циклогексаноне помещалась на поверхность дистиллированной воды. В результате быстрого растекания формировалась пленка полимера толщиной порядка 1  $\mu\text{m}$ . Далее пленка извлекалась из воды при помощи металлической рамки, высушивалась на воздухе около 15 мин и переносилась на подложку. После нанесения 10–15 пленок стопка прессовалась и отжигалась при 150°C, далее процедура повторялась. После достижения общей толщины стопки 100  $\mu\text{m}$ , ее края обрезались и спаивались.

**Атомно-силовая микроскопия.** Исследования на АСМ показали, что поверхности изготовленных образцов однородные, гладкие. Средняя квадратичная шероховатость для наиболее качественных участков составляет величину порядка 200 nm, и в любом случае не превышает шероховатости подложки. Для примера на рис. 1 представлены изображения полимерных пленок вблизи ступеньки, полученной описанным выше способом. Наличие такой ступеньки позволяет на одном и том же скане наблюдать поверхность пленки и соотносить ее с морфологией поверхности подложки. Из представленных на рис. 1 профилей была определена толщина пленок на кремнии – 307 nm (концентрация полимера в растворе 4%) и на нержавеющей стали – 41.5 nm (концентрация 0.5%). При толщинах менее 200 nm поверхность полимерной пленки хорошо воспроизводила поверхность подложки (рис. 1, *b*), повторяя все ее видимые дефекты. Это свидетельствует об однородно-



сти по толщине полученных образцов и высоких пленкообразующих свойствах полидифениленфталида. При увеличении концентрации полимера неровности подложки становятся незначительными по сравнению с толщиной пленки и вдобавок они постепенно выравниваются полимерным материалом. В итоге шероховатость поверхности становится порядка 1–3 nm, и практически не зависит от вида подложки.

Для подготовки образца с целью выявления надмолекулярной структуры в объеме тонких пленок ПДФ использовалась методика «надрыва» полимерной пленки с помощью металлического микрорезака. В отличие

от метода создания ступеньки, описанного выше, важно было углубиться не на всю толщину полимерной пленки. В этом случае движение резака вызывало эффект «плуга» и на некоторых участках приводило к расслоению пленки. Наиболее эффективно это получалось на поверхности пластины из нержавеющей стали вследствие более высокой адгезии полимера к данному типу подложки. В результате появлялась возможность наблюдать методом АСМ «внутреннюю» морфологию пленки при отсутствии поверхностного слоя (рис. 2). На таких участках была обнаружена зеренная структура в виде вытянутых эллипсоидов.

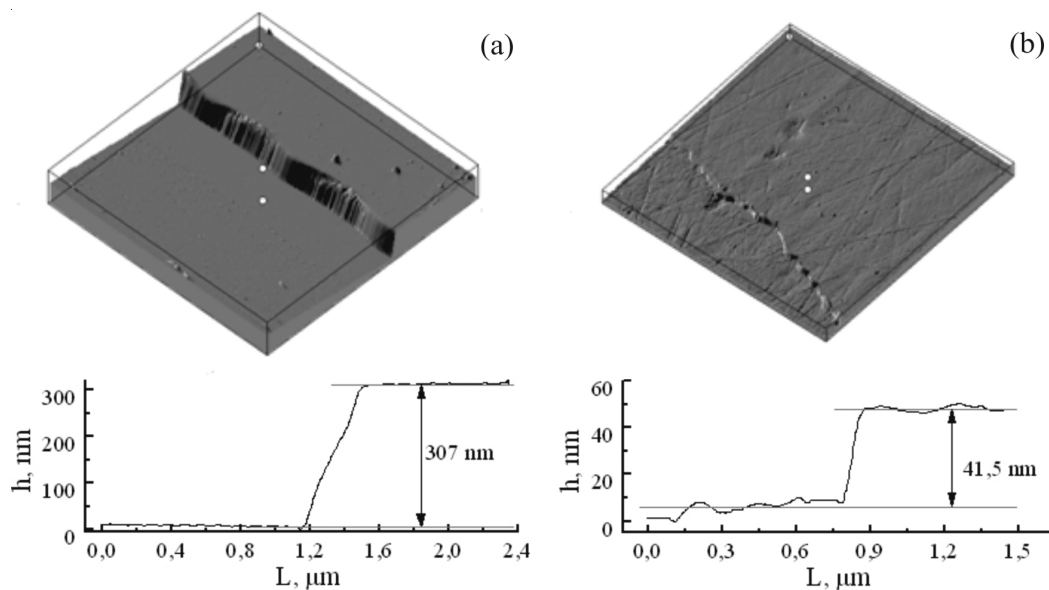


Рис. 1. Полимерная пленка на разных подложках: *a* – на полированном кремнии ( $8.76 \times 8.76 \times 0.41 \mu\text{m}$ ); *b* – на нержавеющей стали ( $10.81 \times 10.81 \times 0.23 \mu\text{m}$ ). Вверху представлены трехмерные изображения края ступеньки в полимерной пленке, внизу – соответствующие профили, проведенные через ступеньку

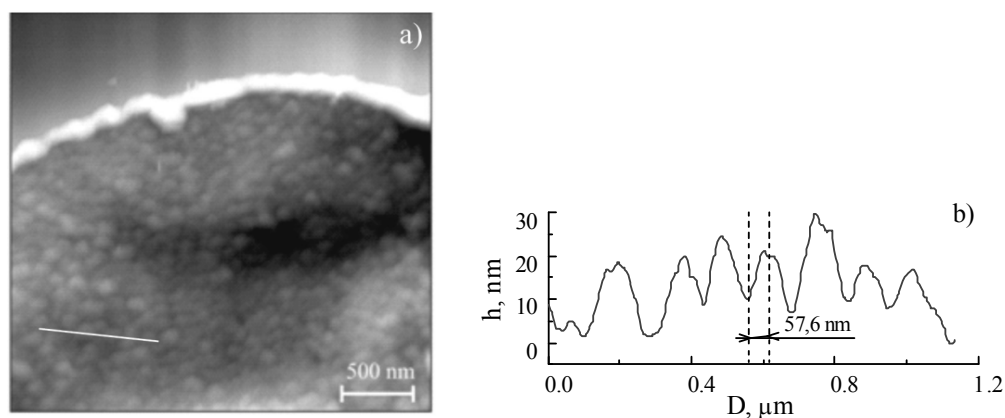


Рис. 2. Внутреннее строение полимерной пленки: увеличенный участок изображения (*a*), сечение поверхности вдоль измерительной линии (*b*)

Наблюдаемая зеренная структура не связана с морфологией подложек, а отражает именно внутреннее строение полимерной пленки. Поверхности используемых подложек (полированный кремний и полированная нержавеющая сталь) были многократно протестированы на АСМ, причем зеренная структура на чистых подложках не проявлялась ни разу. Морфология поверхности подложек обусловлена процессами обработки и имеет соответствующий характерный вид. Например, на рис. 1, *b* хорошо видны следы механической полировки стальной подложки, которые наблюдаются в любом месте образца.

Был проведен статистический анализ изображения наблюдаемых структур. Для данной цели использовалась программа выделения объектов. Предварительно выделялся участок изображения, на котором производились операции фильтрации шумов и устранения постоянного наклона. Затем по гистограмме высот изображения выбиралась рабочая точка, позволяющая провести сечение объекта плоскостью, параллельной основанию. Выбор рабочей точки зависит от вида выделяемых объектов и тех параметров, которые предполагается проанализировать. В нашем случае выбиралась такая точка на гистограмме, которой соответствовало максимальное количество выделенных объектов. Уменьшение количества объектов может быть связано с тем, что секущая плоскость проходит либо слишком близко к базовой плоскости (объекты начинают объединяться), либо слишком высоко (объекты не пересекаются плоскостью).

В качестве параметра для анализа был выбран эффективный диаметр объекта, определяемый как линейный размер объекта, усредненный по 18 измерениям при последовательном повороте на угол  $10^\circ$ . На рис. 3 представлена гистограмма распределения объектов по диаметру. Видно, что не менее 80% объектов имеет диаметр от 20 до 150 нм, а 40% объектов имеют диаметр от 50 до 100 нм. Столбики на гистограмме, соответствующие диаметрам объектов менее 20 нм, отражают ситуацию, когда секущая плоскость проходит близко к локальному максимуму вы-

соты объекта. Столбики, соответствующие диаметрам более 150 нм, в основном соответствуют объединению объектов.

Стоит отметить, что форма и средние размеры гранул-зерен не зависели от концентрации раствора полимера в пределах ее изменения от 2 до 10%. При исследовании пленок, изготовленных из раствора ПДФ с концентрацией менее 2%, обнаружить участки с подобной зеренной структурой не удалось, несмотря на большое количество исследованных участков различных образцов.

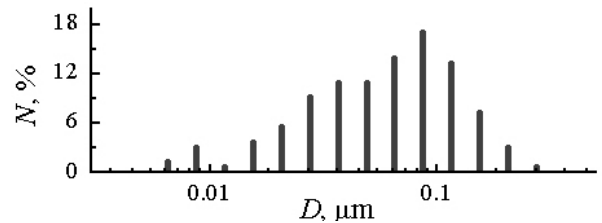


Рис. 3. Гистограмма распределения объектов по диаметру

**Малоугловое рассеяние нейтронов.**

Кривые малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) измеряли на установке «Мембрана» (ФГБУ ПИЯФ НИЦ КИ, Гатчина) в диапазоне переданных импульсов

$$q = \frac{4\pi \sin \theta / 2}{\lambda} = 0.04 - 0.8 \text{ nm}^{-1},$$

где  $\theta$  – угол рассеяния,  $\lambda = 0.3 \text{ nm}$  – длина волны нейтронов (ширина линии  $\Delta\lambda/\lambda = 0.3$ ) и дифрактометре «Yellow Submarine», (Нейтронный центр Будапешта, Венгрия) при  $q = 0.2 - 7 \text{ nm}^{-1}$ ,  $\lambda = 0.3 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda/\lambda = 0.1$ .

Измерены зависимости интенсивности рассеяния от переданного импульса  $q$ . Интенсивности рассеяния приведены к абсолютным значениям сечения  $d\Sigma/d\Omega$  (в  $\text{cm}^{-1}$ ) с использованием  $1 \text{ mm H}_2\text{O}$  как стандарта известного сечения и нормировки на толщину образца.

Кривая рассеяния нейтронов на стопке из 1000 слоев приведена на рис. 4. При  $q > 0.4 \text{ nm}^{-1}$  сечение рассеяния выходит на постоянный уровень (в основном некогерентное рассеяние на атомах водорода в составе полимера). Это означает, что образцы являются относительно однородными на малых масштабах ниже  $2\pi/q \sim 15 \text{ nm}$ . Аппроксима-

цию кривой рассеяния проводили двухмодовой функцией Гинье:

$$\frac{d\Sigma}{d\Omega}(q) = I_1 e^{-(qR_{g1})^2/3} + I_2 e^{-(qR_{g2})^2/3} + B.$$

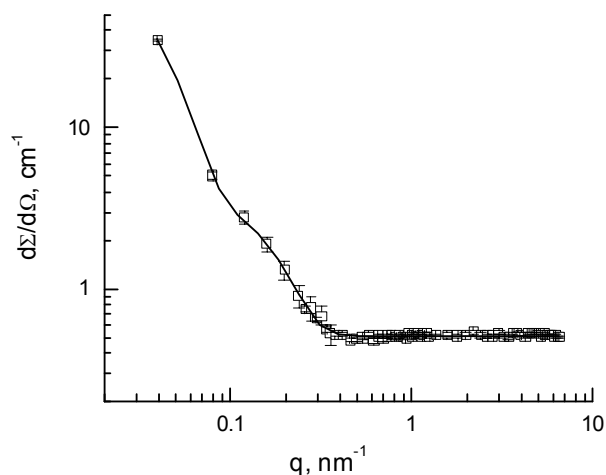


Рис. 4. Сечение рассеяния на образце ПДФ в зависимости от переданного импульса  $q$ . Точки – экспериментальные данные, линия – аппроксимация

Первые два слагаемых описывают независимое рассеяние на неоднородностях плотности с радиусами инерции  $R_{g1}$  и  $R_{g2}$ . Величины  $I_i \sim (\Delta K_i)^2 \phi_i V_i$  пропорциональны квадратам фактора контраста  $\Delta K_i$  между рассеивающими объектами и окружающей средой, которые могут быть разными для двух типов частиц, общей объемной доле  $\phi_i$  и объему отдельного объекта  $V_i$ . Постоянная  $B$  – некогерентный фон, связанный с наличием атомов водорода в системе. Значения параметров аппроксимирующей функции Гинье приведены в табл.

Т а б л и ц а

Параметры подгона кривой малоуглового рассеяния нейтронов

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| $I_1, \text{cm}^{-1}$ | $3.8 \pm 0.5$       |
| $R_{g1}, \text{nm}$   | $11.0 \pm 0.3$      |
| $I_2, \text{cm}^{-1}$ | $83 \pm 6$          |
| $R_{g2}, \text{nm}$   | $43.6 \pm 1.8$      |
| $B, \text{cm}^{-1}$   | $0.5149 \pm 0.0016$ |

Таким образом, в полимерных пленках имеются рассеивающие области со средними радиусами инерции  $\sim 11$  и  $44$  nm. Основной вклад в рассеяние дают частицы боль-

шого размера, объемная доля частиц меньшего размера очень небольшая ( $I_1 \ll I_2$ ). Связь геометрических размеров рассеивающих объектов с радиусом инерции зависит от их формы. В случае сферических частиц их диаметры будут равны  $2R_i = 2\sqrt{5/3}R_{gi}$  [7], т.е. 28 и 110 nm.

Неоднородностями могут быть, например, поры в объеме блочного полимера или зазоры между отдельными слоями. Возможно, что крупные неоднородности (110 nm) локализованы на поверхности пленок (профиль зазора), а мелкие (28 nm) – в объеме пленок. Это могут быть поры (пустоты) или другие неоднородности упаковки цепей полимера (ближний порядок, области кристалличности).

Из кривой рассеяния методом Фурье-преобразования с переходом к прямому пространству (программа Gnom пакета ATSAS) восстановлена корреляционная функция в сферическом представлении, которая описывает корреляции плотности длины когерентного рассеяния в сферических слоях радиуса  $R$  вокруг выбранной точки (рис. 5). Корреляционная функция качественно подтверждает сделанную аппроксимацию. Основной и единственный широкий корреляционный пик с максимумом на расстояниях 50–55 nm свидетельствует о наличии образований со средними размерами 100–110 nm. Незначительное уширение в области малых расстояний говорит о присутствии небольшой доли объектов размерами до 30 nm.

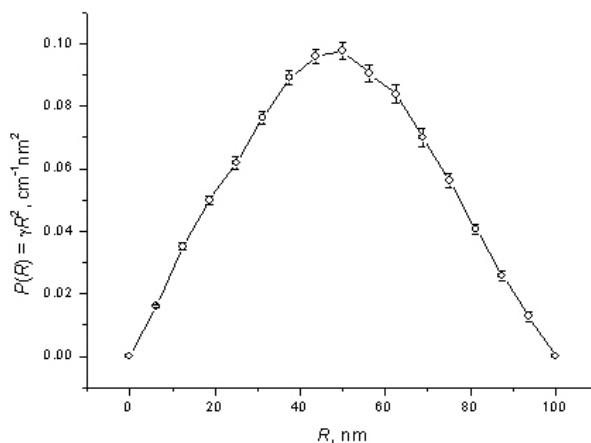


Рис. 5. Корреляционная функция, восстановленная из кривой рассеяния на образце ПДФ

Естественно предположить, что наблюдаемые разными методами структурные элементы возникают в процессе формирования пленок из раствора, причем их форма и размеры обусловлены свойствами раствора. Известно, что в области разбавленных растворов массоперенос осуществляется за счет трансляционного переноса всей макромолекулы как целого, а в области умеренно-концентрированных растворов – за счет рептационных движений сегментов макромолекулы. Вследствие этого переход от одного рода раствора к другому сопровождается изменением вида концентрационной зависимости вязкости раствора. В области разбавленных растворов приведенная вязкость возрастает линейно с ростом концентрации полимера, согласно уравнению Хаггинса [8]; в области же концентрированных и полуразбавленных растворов – за счет рептационных движений сегментов макромолекулы.

Изменение свойств раствора при переходе от сильно разбавленных растворов к полуразбавленным через точку кроссовера должно отражаться и на свойствах пленок, получаемых из раствора. В частности, можно ожидать, что толщина пленок зависит от вязкости (концентрации) раствора ПДФ. Для проверки этого предположения была исследована серия полимерных пленок, изготовленных из растворов различной концентрации в диапазоне концентраций 0.1–10% на подложках из полированного кремния с шагом по концентрации в 0.1% в диапазоне концентраций 0.1–2%. Выбор подложки был обусловлен тем, что шероховатость кремневых подложек составляет порядка 1 nm, а локальная доходит до 100 pm. Каждый раз в пленке создавалась ступенька при помощи микрорезака. При наблюдении таких ступенек методом АСМ была получена серия изображений, по которым была в каждом случае определена толщина пленки. На рис. 6 представлена зависимость толщины пленок от концентрации раствора полимера при условии одинаковой скорости вращения центрифуги (2000 rpm) для пленок, изготовленных на подложках из полированного кремния.

На врезке представлена начальная часть зависимости, в пределах которой измерения толщины пленок проводились с шагом по концентрации 0.1%. Видно, что при этом концентрационная зависимость может быть аппроксимирована двумя линейными участками. При концентрациях раствора 1.5–1.6% происходит переход от первого линейного участка ко второму.

**Обсуждение результатов.** Таким образом, установлена возможность создания сплошных и однородных по толщине субмикронных пленок ПДФ вплоть до 5 nm, что соответствует 2–3 мономолекулярным слоям. Качество поверхности и внутренняя структура полимерных пленок может определяться строением полимерных молекул и их поведением в растворе, наличием макромолекул разной конформации, а также реологическими свойствами раствора в процессе изготовления пленок.

Морфология поверхности полимерной пленки до толщин ~200 nm повторяет морфологию подложки. Установлено, что при гладкой и ровной внешней поверхности полимерная пленка внутренне структурирована. Надрыв полимерной пленки позволяет получить поверхность, отражающую ее внутреннее строение, то есть вполне обоснованно можно говорить о фрактальности полимерной пленки. Картины поверхности разрыва, аналогичные рис. 2, свидетельствуют о том, что происходит хрупкое разрушение материала по межзерненным границам. Такая ситуация для полимерного материала может быть реализована, если надрыв пленки был произведен при температуре, значительно ниже температуры стеклования, что соответствует условиям настоящего эксперимента.

При сопоставлении данных, полученных методами малоуглового рассеяния нейтронов и атомно-силовой микроскопии (рис. 3 и 5) видно, что существует хорошая корреляция между характерными размерами структурных элементов полимерной пленки, полученными этими независимыми методами. Структурный элемент представляет собой эллипсоид (сфероид), большая ось которого имеет размер

100–110 nm (совпадение данных МУРН и АСМ), а малая ось имеет размер 28 nm, (данные МУРН, которым не противоречат данные АСМ). Различия кривых распределения объясняются, по-видимому, тем, что при рассеянии нейтронов используется информация от существенно большего количества рассеивающих центров. Метод АСМ позволил визуализировать внутреннее строение пленок, но количество анализируемых объектов ограничено размером изображения.

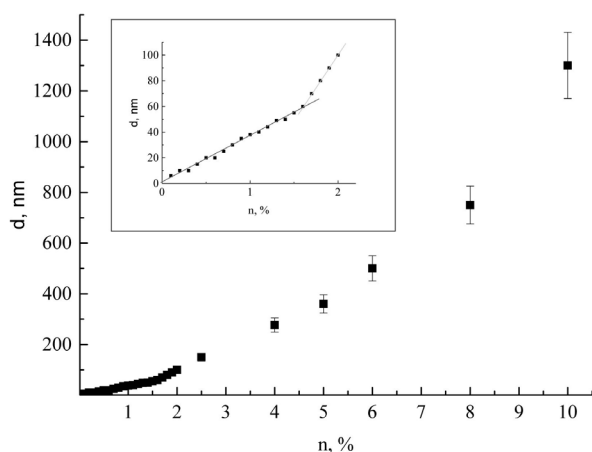


Рис. 6. Зависимость толщины полимерной пленки от концентрации раствора

Тот факт, что на концентрационной зависимости толщины пленок (рис. 6) в диапазоне 1–2% обнаруживается точка перегиба, разделяющая два линейных участка, позволяет предположить, что в этом диапазоне происходит изменение реологических свойств раствора, из которого они отливаются при центрифугировании. Как известно, отдельные невзаимодействующие друг с другом макромолекулы полимера могут присутствовать только в сильно разбавленных растворах. При увеличении концентрации происходит явление ассоциации макромолекул. Степень ассоциации зависит от строения полимера и наличия групп, способных к диполь-дипольному взаимодействию, стереорегулярности макромолекул, концентрации раствора, качества растворителя и т.д.

Оценка показала, что объем наиболее типичных структурных элементов внутри пленки (данные гранулометрического анализа на

рис. 3) составляет от 100 до 500 средних объемов макромолекул. Это позволяет предположить, что зерна внутри пленки представляют собой агрегаты макромолекул полимера. Интересно, что размеры этих образований не зависят от концентрации раствора полимера и способа изготовления пленки. Хотя ожидаемым было увеличение размеров ассоциатов при увеличении концентрации, но такого не наблюдалось. Можно предположить, что при уменьшении концентрации полимерный раствор становится таким разбавленным, что ассоциации макромолекул в нем уже не происходит. При этом уменьшение взаимодействия между макромолекулами должно привести к изменению реологических характеристик полимерного раствора [9]. Для проверки этого предположения был проведен эксперимент по измерению вязкости методом истечения жидкости в диапазоне концентраций 0.3–2%, в котором наблюдается особенность на концентрационной зависимости.

На рис. 7 представлена концентрационная зависимость удельной вязкости раствора ПДФ в циклогексаноне в логарифмических координатах. На графике видны два линейных участка с разным наклоном, которые пересекаются в точке, для которой концентрация раствора  $C^*=1.05$  g/dl или 1.05%. Следуя работе [8], можно предположить, что точка пересечения двух прямых на графике соответствует точке кроссовера от разбавленного к полуразбавленному раствору.

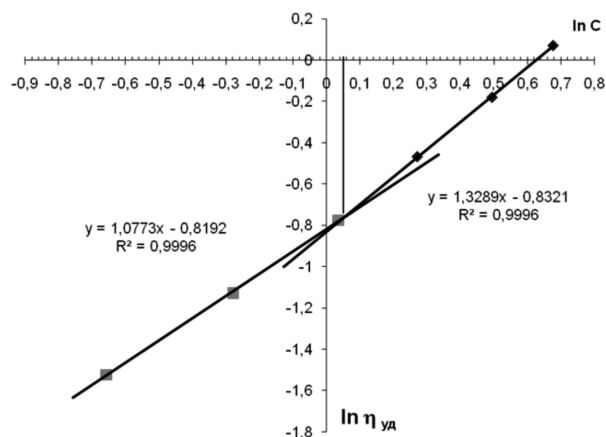


Рис. 7. Концентрационная зависимость удельной вязкости растворов ПДФ

Эти данные хорошо согласуются, с учетом особенностей метода, с изменением наклона кривой, аппроксимирующей зависимость толщины полимерных пленок от концентрации раствора (см. рис. 4) в диапазоне 0.1–2%. Т.е. изменение реологических свойств раствора отражается на толщине полученных образцов. Отметим также, что, по данным АСМ-исследования в пленках, изготовленных из раствора концентрацией менее 2%, внутреннюю зеренную структуру обнаружить не удалось.

Процесс формирования полимерной пленки представляется следующим образом. При центрифугировании ассоциаты макромолекул, существующие первоначально в растворе, не разрушаются за время формирования пленочного образца и потому наблюдаются в виде агрегатов при изучении внутренней структуры полимерной пленки. Можно предположить, что разрыв пленки при ее деформировании происходит в основном по границам агрегатов в результате нарушения межмолекулярных, а не внутримолекулярных связей.

В тонких пленках полимеров класса полиариленфталидов до сих пор было известно о наличии определенной граничной толщины, выше которой пленки являются диэлектриками с близкими к объемным свойствами. Ниже этой границы в полимерных пленках можно реализовать высокую металлоподобную проводимость различными способами [3]. Граница эта для разных полимеров коррелирует с глубиной проникновения поверхностного заряда в полимерный материал и составляет 0.8–3  $\mu\text{m}$ . Из результатов настоящего исследования следует, что должна существовать еще одна меньшая по толщине граница, ниже которой электронные и другие свойства полимерных пленок также должны претерпевать изменение. До сих пор подобного анализа экспериментальных результатов сделано не было. Известны отдельные работы, свидетельствующие об изменении электронных свойств в пленках нанометровой толщины. Например, в работе [10] сообщалось о стабильном и обратимом эффекте памяти в пленках ПДФ толщиной 22 nm в отличие от переключения в пленках в несколь-

ко сотен нанометров. Недавно в сверхтонких пленках были обнаружены эффекты дипольного самоупорядочения с характерными признаками сегнетоэлектрических свойств. По-видимому, на вторую границу по толщине следует обратить особое внимание.

Таким образом, в результате выполнения работы было показано, что внутреннее строение пленок ПДФ обусловлено ассоциацией макромолекул в растворе. Продемонстрирована возможность использования методик малоуглового рассеяния нейтронов и атомно-силовой микроскопии для исследования надмолекулярной структуры полимерных слоев субмикронной толщины, причем эти методы хорошо дополняют друг друга. Открывается возможность использования известного влияния на ассоциацию макромолекул в растворе для целенаправленного получения полимерных пленок с заданными параметрами.

Полученные данные важны для интерпретации результатов по эффекту переключения и позволяют прогнозировать использование субмикронных пленок ПДФ в качестве электроактивных пленочных элементов толщиной до нескольких мономолекулярных слоев.

*Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности Минобрнауки России № 744, при поддержке грантов РФФИ в рамках научных проектов №14-02-01224-а, № 14-02-97009 и № 14-23-01015-офи\_м.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.ras.ru/scientificactivity/scienceresults/prognosis.aspx>.
2. Салазкин С.Н., Золотухин М.Г., Ковардаков В.А. и др. Молекулярно-массовые характеристики полиариленфталида // Высокомолекулярные соединения. 1987. № 29. С. 1431.
3. Лачинов А.Н., Воробьева Н.В. Электроника тонких слоев широкозонных полимеров // УФН. 2006. № 76. С. 1249.
4. Gadiev R.M., Lachinov A.N., Kornilov V.M. et al. The conducting polymer/polymer interface // Appl. Phys. Lett. 2011. № 98. P. 173305.
5. Kornilov V.M., Lachinov A.N. Electron-microscopic analysis of polymer thin films capable of switching to the conductive state // Synth. Metals. 1992. № 53. P. 71.

6. Салазкин С.Н., Шапошникова В.В. Синтез фталидсодержащих полимеров, перспективных для создания функциональных материалов различного назначения // *Нанотехнологии: наука и производство*. 2009. № 3. С. 4.

7. Свергун Д.И., Фейгин Л.А. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние. М.: Наука, 1986. 62 с.

8. Jan F. Rabek. *Experimental Methods in Polymer Chemistry // Physical Principles and Applications*. New York, 1980. P. 507.

9. Norrman K., Ghanbari-Siahkali A., Larsen N.B. 6 Studies of spin-coated polymer films // *Annual Reports Section "C" (Physical Chemistry)*. 2005. №101. P. 174.

10. Zherebov Yu., Lachinov A.N., Genoe J., Tameev A.R. Polyheteroarylene films with intrinsic switching mechanism for nonvolatile memory applications // *Appl. Phys. Lett.* 2008. № 92. P. 193302.

### References

1. <http://www.ras.ru/scientificactivity/science/results/prognosis.aspx>

2. Salazkin S.M., Zolotukhin M.G., Kovardakov V.A., Dubrovina L.V., Gladkova E.A., Pavlova S.S., Rafikov S.R. Molecular-weight characteristics of poly(arylene phthalide). *Vysokomolekulyarnye soedineniya*, 1987, vol. A29, no. 7, pp. 1431–1436.

3. Lachinov A.N., Vorobyeva N.V. Electronics of thin wideband polymer layers. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2006, vol. 176, pp. 1249–1266.

4. Gadiev R.M., Lachinov A.N., Salikhov R.B., Rakhmееv R.G., Kornilov V.M., Yusupov A.R. The conducting polymer/polymer interface. *Applied Physics Letters*, 2011, vol. 98, p. 173305.

5. Kornilov V.M., Lachinov A.N. Electron-microscopic analysis of polymer thin films capable of switching to the conductive state. *Synth. Metals*, 1992, vol. 53, p. 71.

6 Salazkin S.N., Shaposhnikova V.V. Synthesis of phthalide-containing polymers promising for the creation of functional materials of various applications. *Nanotekhnologii: nauka i proizvodstvo*, 2009, no. 3(4), p. 3.

7. Svergun D.I., Feygin L.A. *Roentgen and small-angle neutron scattering*. Moscow, Nauka, 1986. 62 p.

8. Rabek J.F. *Experimental methods in polymer chemistry: Physical principles and applications*. New York, John Wiley & Sons, 1980. 507 p.

9. Norrman K., Ghanbari-Siahkali A., Larsen N.B. Studies of spin-coated polymer films. *Annual Reports Section "C". Physical Chemistry*, 2005, vol. 101, p. 174–201.

10. Zherebov Yu., Lachinov A.N., Genoe J., Tameev A.R. Polyheteroarylene films with intrinsic switching mechanism for nonvolatile memory applications. *Appl. Phys. Lett.* 2008, vol. 92, p. 193302.



## RESEARCH ON THE STRUCTURE OF PROMISING POLYMER MATERIALS USING SMALL-ANGLE NEUTRON SCATTERING AND ATOMIC FORCE MICROSCOPY

© D.D. Karamov<sup>1</sup>, V.M. Kornilov<sup>2</sup>, Y.V. Kulvelis<sup>3</sup>, I.R. Nabiullin<sup>2</sup>, V.A. Kraykin<sup>4</sup>, I.A. Ionova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Molecule and Crystal Physics, Ufa Scientific Centre, RAS,  
151, prospect Oktyabrya, 450075, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup>Akmullah Bashkir State Pedagogical University,  
3a, ulitsa Oktyabrskoy Revolitsii, 450000, Ufa, Russian Federation

<sup>3</sup>Konstantinov Institute of Nuclear Physics, Kurchatov Institute Orlova Roshcha,  
Gatchina188300, Leningrad Oblast, Russian Federation,

<sup>4</sup>Ufa Institute of Chemistry, Russian Academy of Sciences,  
69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The paper describes the results of our experimental research on the supramolecular structure of poly(diphenylene phthalide) polymer layers in submicron films using atomic force microscopy and small-angle neutron scattering. It is found that the polymer films have inlying structure, with their structural elements having the form of spheroids. The dimensions of the structural elements obtained by virtue of neutron scattering and AFM images analysis correlate well with each other. The model is proposed for the formation of polymer layers due to the presence of associates in the initial solution.

Key words: thin films, supramolecular structure, polymers, atomic force microscopy, small-angle neutron scattering.

УДК 517.586, 517.588

## РАЗЛОЖЕНИЕ СТЕПЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ ФОРМУЛЫ ГЕЙНЕ

© Р.Ф. Ахметьянов, Е.С. Шиховцева

Представлен вывод разложения  $(\bar{x} - \bar{y})^{-\nu}$ . Формулы такого типа очень полезны для вычисления спектров степенных потенциалов в уравнении Шредингера, сферически симметричных решений уравнения Лапласа и других уравнений математической физики, допускающих решение в гипергеометрических функциях. В качестве примера рассмотрено интегральное уравнение Шредингера с потенциалами вида  $1/r^{\nu}$  при  $0 < \nu < 3$ .

Ключевые слова: функция Лежандра, полином Лежандра и Гегенбауэра, гипергеометрическая функция.

**Введение.** Разложения точного вида  $(\bar{x} - \bar{y})^{-\nu} = \sum_{\mu} f_{\mu}^{(\nu)}(\bar{x}) f_{\mu}^{(\nu)}(\bar{y})$  представляют несомненный научный интерес в ряде задач математической физики. Также разложения такого вида облегчают возможность описывать нелинейные процессы (в теории гидродинамики, микромагнетизма и др.). Так, к примеру, интегральные уравнения Шредингера со степенными потенциалами приводят к интегральным уравнениям с вырожденными ядрами, что в значительной степени помогает рассчитывать спектры атомов и молекул. В этой работе представлен вывод основных выражений, а также несколько примеров.

Будем исходить из соотношения [1, гл. 6.7.3.3]

$$\frac{1}{(h^2 - 2h\omega + 1)^a} = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{(a)_l}{(b-1)_l} h^l C_l^{b-1}(\omega) \times \times {}_2F_1 \left[ \begin{matrix} a+l & a-b+1 \\ b+l \end{matrix} \middle| h^2 \right]. \quad (1)$$

Здесь  $(a)_n = \frac{\Gamma(a+n)}{\Gamma(a)}$ ,  $\Gamma(z)$  – Гамма-функция,  $C_n^{\nu}(x)$  – полиномы Гегенбауэра,

$${}_pF_q \left[ \begin{matrix} a_1, a_2, \dots, a_p \\ b_1, b_2, \dots, b_q \end{matrix} \middle| z \right] = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a_1)_k (a_2)_k \dots (a_p)_k}{(b_1)_k (b_2)_k \dots (b_q)_k} \frac{z^k}{k!}$$

– обобщенная гипергеометрическая функция.

Перепишем (1), полагая  $b = \frac{3}{2}$  и выражая полиномы Гегенбауэра через функции Лежандра первого рода  $C_l^{\frac{1}{2}}(\omega) = P_l(\omega)$ , а гипергеометрическую функцию – через функцию Лежандра второго рода  $Q_{\mu}^{\nu}(z)$  [2, гл. 3.2 (45)]

$${}_2F_1 \left[ \begin{matrix} a+l & a-\frac{1}{2} \\ l+\frac{3}{2} \end{matrix} \middle| h^2 \right] = \frac{\Gamma\left(l+\frac{3}{2}\right)}{2^{a-1} \sqrt{\pi} \Gamma(l+a) h^{l+a}} \times \times \frac{Q_l^{a-1}(\xi) e^{-i\pi(a-1)}}{(\xi^2 - 1)^{\frac{a-1}{2}}},$$

где  $\xi = \frac{h^2 + 1}{2h}$ .

Сопоставив это выражение с (1), получим обобщение формулы Гейне.

АХМЕТЬЯНОВ Роберт Фанилович, Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: robertu@mail.ru

ШИХОВЦЕВА Елена Сергеевна – д.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: elshik@anrb.ru



$$\frac{1}{(h^2 - 2h\omega + 1)^a} = \frac{1}{\Gamma(a)(2h)^a} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1)P_l(\omega) \times \frac{Q_l^{a-1}(\xi)e^{-i\pi(a-1)}}{(\xi^2 - 1)^{\frac{a-1}{2}}}. \quad (2)$$

Действительно, представив выражение (2) в виде

$$\frac{1}{(\xi - \omega)^a} = \frac{1}{\Gamma(a)} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1)P_l(\omega) \frac{Q_l^{a-1}(\xi)e^{-i\pi(a-1)}}{(\xi^2 - 1)^{\frac{a-1}{2}}}$$

и положив  $a=1$ , получаем известную формулу Гейне [1, гл. 3.10 (10)].

Полагая в (2)  $a = \frac{\nu}{2}$ ,  $h = \frac{|\bar{x}_1|}{|\bar{x}_2|} < 1$ ,  $\bar{x}_i$  –

вектора в трехмерном пространстве, а  $\omega$  – косинус угла между ними, приходим к выражению:

$$\frac{1}{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|^\nu} = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)(2x_1x_2)^{\frac{\nu}{2}}} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1)P_l(\omega) \times \frac{Q_l^{\frac{\nu}{2}-1}(\xi)e^{-i\pi\left(\frac{\nu}{2}-1\right)}}{(\xi^2 - 1)^{\frac{\nu}{4}-\frac{1}{2}}} = \frac{4\pi}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)(2x_1x_2)^{\frac{\nu}{2}}} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^{m=l} \frac{Q_l^{\frac{\nu}{2}-1}(\xi)e^{-i\pi\left(\frac{\nu}{2}-1\right)}}{(\xi^2 - 1)^{\frac{\nu}{4}-\frac{1}{2}}} \times Y_{lm}(\Omega_x)Y_{lm}^*(\Omega_y), \quad (3)$$

$$\xi = \frac{x_1^2 + x_2^2}{2x_1x_2}, \quad x_i = |\bar{x}_i|,$$

при получении которого использована известная теорема сложения Лежандра,  $Y_{lm}(\Omega)$  – сферическая функция. Строгий математический вывод (3) и ее обсуждение в связи с другими подобными формулами и приложением для фундаментального решения полигармонического уравнения Лапласа приведен в [3].

Далее задача заключается в том, чтобы входящее в (3) выражение представить в виде разложения по некоторым функциям

$$\frac{Q_\nu^\mu(\xi)e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{\xi^2 - 1}^\mu} \approx \sum_n q_{n,m} f_n(x_1) f_m(x_2),$$

целью которого является определение  $q_{n,m}$  и  $f_n(x)$

**Разложение функции Лежандра второго рода.** Здесь мы ограничимся построением разложения при

$$\xi = z_1z_2 + z_3\sqrt{z_1^2 + 1}\sqrt{z_2^2 + 1} \text{ по } z_1, z_2, z_3.$$

В соответствии с определением функции Лежандра второго рода, представим его в виде ( $z > 1$ ) [2, гл. 3.2 (5)]

$$\frac{Q_\nu^\mu(z)e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{z^2 - 1}^\mu} = \frac{\sqrt{\pi}\Gamma(\nu + \mu + 1)}{2^{\nu+1}\Gamma\left(\nu + \frac{3}{2}\right)z^{\nu+\mu+1}} \times {}_2F_1\left[\begin{matrix} \nu + \mu + 1 & \nu + \mu + 1 + \frac{1}{2} \\ \nu + \frac{3}{2} \end{matrix} \middle| \frac{1}{z^2} \right] = \quad (4)$$

$$= \sqrt{\pi}2^\mu \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(\nu + \mu + 1 + 2n)}{\Gamma\left(\nu + n + \frac{3}{2}\right)n!} \frac{1}{(2z)^{\nu+\mu+1+2n}}$$

и положим в нем  $z = c + b$ , а

$$\frac{1}{z^\beta} = \frac{1}{c^\beta\Gamma(\beta)} \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{\Gamma(\beta + m)}{m!} \left(\frac{c}{b}\right)^{\beta+m} \text{ пере-}$$

пишем в виде суммы, которая сходится при любом  $\beta$  и  $\left|\frac{c}{b}\right| < 1$ . После объединения порядков по  $\frac{c}{b}$ , (4) можно записать в виде

$$\frac{Q_\nu^\mu(c+b)e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{(c+b)^2 - 1}^\mu} = \frac{\sqrt{\pi}2^\mu}{(2b)^{\nu+\mu+1}\Gamma\left(\nu + \frac{3}{2}\right)} \times \sum_{n=0}^{\infty} \left(-\frac{c}{b}\right)^n \frac{\Gamma(\nu + \mu + 1 + n)}{n!} {}_2F_1\left[\begin{matrix} -\frac{n}{2} & -\frac{n}{2} + \frac{1}{2} \\ \nu + \frac{3}{2} \end{matrix} \middle| \frac{1}{c^2} \right]. \quad (4a)$$

Отметим, что гипергеометрическая функция в этом выражении – конечный полином, поэтому никаких ограничений на  $c$  не накладывается.

Далее представим гипергеометрическую функцию в (4a) в виде [2, гл. 2.11 (16)]

$${}_2F_1 \left[ \begin{matrix} -\frac{n}{2} & -\frac{n}{2} + \frac{1}{2} \\ \nu + \frac{3}{2} \end{matrix} \middle| \frac{1}{c^2} \right] =$$

$$= \left( \frac{\sqrt{c^2 - 1}}{c} \right)^n {}_2F_1 \left[ \begin{matrix} -n & n + 2\nu + 2 \\ \nu + \frac{3}{2} \end{matrix} \middle| \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{c}{\sqrt{c^2 - 1}} \right]$$

и, в свою очередь, [2, гл. 3.15 (3)]

$${}_2F_1 \left[ \begin{matrix} -n & n + 2\nu + 2 \\ \nu + \frac{3}{2} \end{matrix} \middle| \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{c}{\sqrt{c^2 - 1}} \right] =$$

$$= \frac{n! \Gamma(2\nu + 2)}{\Gamma(n + 2\nu + 2)} C_n^{\nu+1} \left( \frac{c}{\sqrt{c^2 - 1}} \right).$$

Таким образом,

$$\frac{Q_\nu^\mu(c+b)e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{(c+b)^2 - 1}^\mu} = \frac{\sqrt{\pi} 2^\mu \Gamma(2\nu + 2)}{(2b)^{\nu+\mu+1} \Gamma\left(\nu + \frac{3}{2}\right)} \times$$

$$\times \sum_{n=0}^{\infty} \left( -\frac{\sqrt{c^2 - 1}}{b} \right)^n \frac{\Gamma(\nu + \mu + 1 + n)}{\Gamma(2\nu + 2 + n)} C_n^{\nu+1} \left( \frac{c}{\sqrt{c^2 - 1}} \right).$$

Если положить

$$c = z_1 z_2, \quad b = z_3 \sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1}, \quad z_3 > 1$$

и ввести вспомогательные переменные

$$x_1 = \frac{z_1}{\sqrt{z_1^2 + 1}}, \quad x_2 = \frac{z_2}{\sqrt{z_2^2 + 1}},$$

то

$$\left( \frac{\sqrt{c^2 - 1}}{b} \right)^n C_n^{\nu+1} \left( \frac{c}{\sqrt{c^2 - 1}} \right) =$$

$$= \frac{1}{z_3^n} C_n^{\nu+1} \left( \frac{x_1 x_2}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 - 1}} \right) (x_1^2 + x_2^2 - 1)^{\frac{n}{2}}.$$

Используя разложение для полиномов Гегенбауэра ( $\sigma = 0$  или  $\sigma = 1$ ) [1, гл. 4.6.2 (6)]

$$C_{2n+\sigma}^{\nu+1} \left( \frac{x_1 x_2}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 - 1}} \right) (x_1^2 + x_2^2 - 1)^{\frac{2n+\sigma}{2}} =$$

$$= \frac{\Gamma(\nu + 1) \Gamma(2n + 2\nu + 2 + \sigma)}{2^{2n+\sigma}} \times$$

$$\times \sum_{k=0}^n \frac{(2k + \sigma)! (2k + \sigma + \nu + 1) C_{2k+\sigma}^{\nu+1}(x_1) C_{2k+\sigma}^{\nu+1}(x_2)}{(n-k)! \Gamma(2k + 2\nu + 2 + \sigma) \Gamma(n + k + \nu + \sigma + 2)},$$

находим после объединения сумм по полиномам Гегенбауэра

$$\frac{Q_\nu^\mu(z) e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{z^2 - 1}^\mu} = \frac{2^{\mu+2\nu+1} \Gamma(\nu + 1)^2}{\left(2z_3 \sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1}\right)^{\nu+\mu+1}} \times$$

$$\times \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n n! (n + \nu + 1) C_n^{\nu+1}(x_1) C_n^{\nu+1}(x_2)}{\Gamma(n + 2\nu + 2)} \times$$

$$\times \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(\nu + \mu + 1 + 2k + n)}{k! \Gamma(\nu + 2 + n + k) (2z_3)^{2k+n}},$$

$$z = z_1 z_2 + z_3 \sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1}, \quad z_3 > 1.$$

Последнюю сумму по  $k$  представим в виде функции Лежандра второго рода из (4), а полиномы Гегенбауэра в  $z_k$ -переменных. Учитывая, что

$$C_n^{\nu+1}(x_i) = C_n^{\nu+1} \left( \frac{z_i}{\sqrt{z_i^2 + 1}} \right) =$$

$$= \frac{(-1)^n i^{-2\nu-1} \sqrt{z_i^2 + 1}^{\nu+1}}{2^\nu n! \Gamma(\nu + 1)} Q_\nu^{n+\nu+1}(iz_i), \quad (5)$$

получим искомую нами формулу теоремы сложения для функции Лежандра второго рода:

$$\frac{Q_\nu^\mu(z) e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{z^2 - 1}^\mu} = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \frac{(-1)^{\nu+1}}{\left(\sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1}\right)^\mu} \times$$

$$\times \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (n + \nu + 1)}{n! \Gamma(n + 2\nu + 2)} Q_\nu^{n+\nu+1}(iz_1) Q_\nu^{n+\nu+1}(iz_2) \times$$

$$\frac{Q_{n+\nu+\frac{1}{2}}^{\mu-\frac{1}{2}}(z_3) e^{-i\pi\left(\mu-\frac{1}{2}\right)}}{\sqrt{z_3^2 - 1}^{\left(\mu-\frac{1}{2}\right)}}, \quad (6a)$$

$$z = z_1 z_2 + z_3 \sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1}, \quad z_3 > 1.$$

В дальнейшем нас будут интересовать последние выражения при целых  $\nu = l = 0, 1, 2, \dots$ . В этом случае можно изменить порядок суммирования по  $n$

$$\begin{aligned} \frac{Q_l^\mu(z) e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{z^2 - 1}^\mu} &= \sqrt{\frac{8}{\pi}} \frac{1}{\left(\sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1}\right)^\mu} \times \\ &\times \sum_{n=l+1}^{\infty} \frac{(-1)^n n}{(n-l-1)!(n+l)!} Q_l^n(iz_1) Q_l^n(iz_2) \times (6b) \\ &\times \frac{Q_{n-\frac{1}{2}}^{\mu-\frac{1}{2}}(z_3) e^{-i\pi\left(\mu-\frac{1}{2}\right)}}{\sqrt{z_3^2 - 1}^{\left(\mu-\frac{1}{2}\right)}}. \end{aligned}$$

В частности, при  $z_3 = ch(\alpha)$  из [2, гл. 3.2 (45)] или [2, гл. 3.13 (6)] следует, что

$$\begin{aligned} \frac{Q_{n-\frac{1}{2}}^{\mu-\frac{1}{2}}(ch(\alpha)) e^{-i\pi\left(\mu-\frac{1}{2}\right)}}{\sqrt{ch(\alpha)^2 - 1}^{\left(\mu-\frac{1}{2}\right)}} &= \\ &= \sqrt{\frac{\pi}{2}} 2^\mu \frac{\Gamma(n+\mu)}{n!} e^{-\alpha(n+\mu)} {}_2F_1 \left[ \begin{matrix} \mu & n+\mu \\ n+1 \end{matrix} \middle| e^{-2\alpha} \right] \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned} \frac{Q_l^\mu(z) e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{z^2 - 1}^\mu} &= \frac{2^{\mu+1} e^{-\alpha\mu}}{\left(\sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1}\right)^\mu} \times \\ &\times \sum_{n=l+1}^{\infty} \frac{(-1)^n \Gamma(n+\mu) e^{-\alpha n} {}_2F_1 \left[ \begin{matrix} \mu & n+\mu \\ n+1 \end{matrix} \middle| e^{-2\alpha} \right]}{(n-l-1)!(n-l-1)!(n+l)!} \times (6c) \\ &\times Q_l^n(iz_1) Q_l^n(iz_2). \end{aligned}$$

При  $\mu = 0$  получаем известное выражение [4, гл. 8.795 (3)]

$$\begin{aligned} Q_l \left( z_1 z_2 + \sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1} ch(\alpha) \right) &= \\ &= 2 \sum_{n=l+1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(n-l-1)!(n+l)!} Q_l^n(iz_1) Q_l^n(iz_2) e^{-\alpha n}, \\ &z_1 > 0, \quad z_2 > 0, \quad \alpha > 0. \end{aligned}$$

**Применение теоремы сложения к обобщенной формуле Гейне.** Теперь полученные выражения мы можем записать

в виде разложения по функциям Гегенбауэра. При  $n-l = 1, 2, 3, \dots$ , целых  $\nu = l = 0, 1, 2, \dots$  и  $z_1 z_2 < 0$  с учетом соотношения (5), из (6с) находим

$$\begin{aligned} \frac{Q_l^\mu(z) e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{z^2 - 1}^\mu} &= \frac{2^{2l+\mu+1} (l!)^2 e^{-\alpha\mu}}{\left(\sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1}\right)^{\mu+l+1}} \times \\ &\times \sum_{n=l+1}^{\infty} \frac{\Gamma(n+\mu) \Gamma(n-l) e^{-\alpha n} {}_2F_1 \left[ \begin{matrix} \mu & n+\mu \\ n+1 \end{matrix} \middle| e^{-2\alpha} \right]}{(n-l-1)! \Gamma(n+l+1)} \times \\ &\times C_{n-l-1}^{l+1} \left( \frac{z_1}{\sqrt{z_1^2 + 1}} \right) C_{n-l-1}^{l+1} \left( \frac{z_2}{\sqrt{z_2^2 + 1}} \right), \end{aligned}$$

полагая

$$z_1 = \frac{x_1^2 - 1}{2x_1}, \quad z_2 = \frac{x_2^2 - 1}{2x_2}, \quad \alpha = 0$$

и учитывая, что

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} {}_2F_1 \left[ \begin{matrix} \mu & n+\mu \\ n+1 \end{matrix} \middle| e^{-2\alpha} \right] = \frac{n! \Gamma\left(\frac{1}{2} - \mu\right)}{2^{2\mu} \sqrt{\pi} \Gamma(n+1-\mu)},$$

при  $\mu < \frac{1}{2}$  получим

$$\xi = -z_1 z_2 + \sqrt{z_1^2 + 1} \sqrt{z_2^2 + 1} = \frac{x_1^2 + x_2^2}{2x_1 x_2},$$

$$\begin{aligned} \frac{Q_l^\mu(\xi) e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{\xi^2 - 1}^\mu} &= \frac{2^{4l+\mu+3} (l!)^2 (x_1 x_2)^{\mu+l+1}}{\sqrt{\pi} \left( (x_1^2 + 1)(x_2^2 + 1) \right)^{\mu+l+1}} \times \\ &\times \sum_{n=l+1}^{\infty} \frac{n \Gamma(n+\mu) \Gamma(n-l) \Gamma\left(\frac{1}{2} - \mu\right)}{\Gamma(n+l+1) \Gamma(n+1-\mu)} \times \\ &\times C_{n-l-1}^{l+1} \left( \frac{x_1^2 - 1}{x_1^2 + 1} \right) C_{n-l-1}^{l+1} \left( \frac{x_2^2 - 1}{x_2^2 + 1} \right). \end{aligned}$$

Введем функции

$$\eta_{nl}(x) = 2^{2l+2} l! \sqrt{\frac{n(n-l-1)!}{\pi(n+l)!}} \frac{x^l C_{n-l-1}^{l+1} \left( \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right)}{(x^2 + 1)^{l+\frac{3}{2}}}, \quad (7)$$

удовлетворяющие условию

$$\int_0^\infty x^2 \eta_{n_1 l}(x) \eta_{n_2 l}(x) dx = \delta_{n_1 n_2}.$$

Тогда последнее разложение можно представить в виде

$$\frac{Q_l^\mu(\xi)e^{-i\pi\mu}}{\sqrt{\xi^2-1}^\mu} = \frac{\sqrt{\pi}2^{\mu-1}(x_1x_2)^{\mu+1}}{\left((x_1^2+1)(x_2^2+1)\right)^{\mu-\frac{1}{2}}} \times \sum_{n=l+1}^{\infty} \frac{\Gamma(n+\mu)\Gamma\left(\frac{1}{2}-\mu\right)}{\Gamma(n+1-\mu)} \eta_{nl}(x_1)\eta_{nl}(x_2). \quad (8)$$

Используя (3) и (8) и учитывая, что функция в правой части (3) есть однородная функция степени  $-\nu$  при любом  $\gamma$ , получим

$$\frac{1}{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|^\nu} = \frac{1}{\gamma^{6-\nu}} (x_1^2 + \gamma^2)^{\frac{3-\nu}{2}} (x_2^2 + \gamma^2)^{\frac{3-\nu}{2}} \times \sum_{n=l+1}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^{m=l} A_n^v \xi_{nlm} \left( \frac{\bar{x}_1}{\gamma} \right) \xi_{nlm}^* \left( \frac{\bar{x}_2}{\gamma} \right), \quad (9a)$$

где теперь из условия  $\mu < \frac{1}{2}$  следует  $\nu < 3$  и где

$$\xi_{nlm}(\bar{x}) = \eta_{nl}(x) Y_{lm}(\Omega_x),$$

$$\int d^3\bar{x} \xi_{n_1l_1m_1} \left( \frac{\bar{x}}{\gamma} \right) \xi_{n_2l_2m_2} \left( \frac{\bar{x}}{\gamma} \right) = \gamma^3 \delta_{n_1n_2} \delta_{l_1l_2} \delta_{m_1m_2}, \quad (9b)$$

$$A_n^v = \frac{\pi^{\frac{3}{2}} \Gamma\left(\frac{3-\nu}{2}\right) \Gamma\left(n-1+\frac{\nu}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right) \Gamma\left(n+2-\frac{\nu}{2}\right)}. \quad (9c)$$

Выражение (9a) определено при всех действительных числах  $\nu < 3$ . Так, при отрицательных четных  $\nu = -2N$ ,  $N = 1, 2, 3, \dots$  оно имеет конечные суммы по  $n = 1, 2, \dots, N+1$ .

При  $\nu > 3$  выражение (9a) не определено, так как при  $\mu > \frac{1}{2}$  в выражении (6с) гипергеометрическая функция  ${}_2F_1\left[\begin{matrix} \mu & n+\mu \\ n+1 \end{matrix} \middle| e^{-2\alpha}\right]$  при

$\alpha \rightarrow 0$  будет иметь особенность

$${}_2F_1\left[\begin{matrix} \mu & n+\mu \\ n+1 \end{matrix} \middle| 1-\delta\right] = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{1}{\delta^{2\mu-1}} \frac{n!4^{\mu-1}\Gamma\left(\mu-\frac{1}{2}\right)}{\sqrt{\pi}\Gamma(n+\mu)}$$

и, таким образом,  $A_n^v$  в (9с) при  $\nu > 3$  будет иметь особенность вида  $A_n^v \approx \frac{1}{\delta^{\nu-3}}$  при  $\delta \rightarrow 0$ .

Полагая  $x_k \rightarrow ix_k$ , можно получить альтернативное выражение интегрального вида по аналогии с [5] и [6], если сделать преобразования

$$\sum_n \rightarrow i \int_0^\infty \rho^2 d\rho, \quad n \rightarrow i\rho, \quad \frac{1}{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|^\nu} = \frac{1}{\gamma^{6-\nu}} (\gamma^2 - x_1^2)^{\frac{3-\nu}{2}} (\gamma^2 - x_2^2)^{\frac{3-\nu}{2}} \times \int_0^\infty \rho^2 d\rho \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^{m=l} A_p^v \xi_{\rho lm} \left( \frac{\bar{x}_1}{i\gamma} \right) \xi_{\rho lm}^* \left( \frac{\bar{x}_2}{i\gamma} \right), \quad (10a)$$

где теперь

$$\xi_{\rho lm} \left( \frac{\bar{x}}{i\gamma} \right) = \frac{2(-1)^{l+1}}{\Gamma\left(l+\frac{3}{2}\right)} \sqrt{\frac{i\rho\Gamma(i\rho+l+1)}{\Gamma(i\rho-l)}} \times {}_x^l {}_2F_1\left[\begin{matrix} l+1+i\rho & l+1-i\rho \\ l+\frac{3}{2} \end{matrix} \middle| \frac{\gamma^2}{\gamma^2-x^2}\right] Y_{lm}(\Omega_x), \quad (10b)$$

$$A_p^v = \frac{\pi^{\frac{3}{2}} \Gamma\left(\frac{3-\nu}{2}\right) \Gamma\left(i\rho-1+\frac{\nu}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right) \Gamma\left(i\rho+2-\frac{\nu}{2}\right)}. \quad (10c)$$

**Примеры.** Рассмотрим интегральное уравнение Шредингера

$$(x^2 + \gamma^2)\psi(\bar{x}) = \int d^3\bar{y} K(\bar{x}, \bar{y})\psi(\bar{y}). \quad (11)$$

При условии, что ядро имеет однородность

$$K(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{1}{\gamma^\nu} K\left(\frac{\bar{x}}{\gamma}, \frac{\bar{y}}{\gamma}\right),$$

уравнение (11) можно записать в виде

$$(x^2 + 1)\phi(\bar{x}) = \frac{1}{\gamma^{\nu-1}} \int d^3\bar{y} K(\bar{x}, \bar{y})\phi(\bar{y}),$$

$$\psi(\bar{x}) = \phi\left(\frac{\bar{x}}{\gamma}\right).$$

Очевидно, что при симметричном ядре  $K(\bar{x}, \bar{y}) = K(\bar{y}, \bar{x})$  интегрального уравнения, уравнение для  $\phi(\bar{x})$  можно представить в виде однородного интегрального уравнения Фредгольма второго рода с симметричным ядром

$$\chi(\bar{x}) = \frac{1}{\gamma^{v-1}} \int d^3 y \frac{K(\bar{x}, \bar{y})}{\sqrt{x^2+1}\sqrt{y^2+1}} \chi(\bar{y}),$$

$$\Phi(\bar{x}) = \frac{\chi(\bar{x})}{\sqrt{x^2+1}}$$

и решениями данного уравнения будет являться система ортогональных функций с собственными значениями  $\frac{1}{\gamma_n^{v-1}}$ . В случае,

когда ядро имеет вырожденный вид

$$K(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_{\mu_1, \mu_2} \beta_{\mu_1, \mu_2}^v f_{\mu_1}(\bar{x}) f_{\mu_2}(\bar{y}),$$

$$\beta_{\mu_1, \mu_2}^v = \beta_{\mu_2, \mu_1}^v,$$

решение уравнения для  $\chi(\bar{x})$  можно представить в виде нормированных ортогональных функций

$$\chi_n(\bar{x}) = N_n \sum_{\mu_1, \mu_2} \beta_{\mu_1, \mu_2}^v C_{\mu_2}(\gamma_n) \frac{f_{\mu_1}(\bar{x})}{\sqrt{x^2+1}},$$

$$|N_n|^2 \gamma_n^{v-1} \sum_{\mu_1, \mu_2} \beta_{\mu_1, \mu_2}^v C_{\mu_1}(\gamma_n) C_{\mu_2}(\gamma_n) = 1.$$

Здесь последнее выражение определяет квадрат нормы  $N_n$ , а  $C_\mu(\gamma_n)$  и  $\gamma_n$  находят-ся из характеристического уравнения

$$\det |\alpha_{\mu_2, \mu_1}^v - \gamma_n^{v-1} \delta_{\mu_2, \mu_1}| = 0,$$

$$\sum_{\mu_1} \alpha_{\mu_2, \mu_1}^v C_{\mu_1}(\gamma_n) = \gamma_n^{v-1} C_{\mu_2}(\gamma_n),$$

$$\alpha_{\mu_2, \mu_1}^v = \sum_{\mu} \beta_{\mu_1, \mu_2}^v \int d^3 x \frac{f_{\mu}(\bar{x}) f_{\mu_2}(\bar{x})}{x^2+1}.$$

Очевидно, что нормированные собственные функции уравнения (11) при условии, что все  $\gamma_n^{v-1} > 0$  – это функции

$$\Psi_n(\bar{x}) = \sqrt{\frac{2}{\gamma_n}} \frac{\chi_n\left(\frac{\bar{x}}{\gamma_n}\right)}{\sqrt{x^2 + \gamma_n^2}}.$$

Для ядра вида (9)

$$K(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{\lambda}{|\bar{x} - \bar{y}|^v} \quad (12)$$

имеем

$$f_{\mu}(\bar{x}) = \sqrt{\lambda A_{\mu}^v} (x^2+1)^{\frac{3-v}{2}} \xi_{\mu}(\bar{x}), \quad \beta_{\mu_1, \mu_2}^v = \delta_{\mu_1, \mu_2}.$$

Здесь для упрощения записи под символом

$\mu$  мы будем подразумевать  $\mu_i = \langle n_i, l_i, m_i \rangle$ , а

$$\text{суммирование } \sum_{\mu} (\dots) = \sum_{n=l+1}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^{m=l} (\dots),$$

тогда

$$\alpha_{\mu_1, \mu_2}^v = \lambda \sqrt{A_{\mu_1}^v} \sqrt{A_{\mu_2}^v} \int d^3 \bar{x} (x^2+1)^{2-v} \xi_{\mu_1}^*(\bar{x}) \xi_{\mu_2}(\bar{x}),$$

которые можно представить как

$$\alpha_{\mu_1, \mu_2}^v = \delta_{l_1, l_2} \delta_{m_1, m_2} \alpha_{n_1, n_2}^{l_1, v},$$

$$\alpha_{n_1, n_2}^{l_1, v} = \lambda \sqrt{A_{n_1}^v} \sqrt{A_{n_2}^v} \int x^2 (x^2+1)^{2-v} \times \quad (13)$$

$$\times \eta_{n_1 l_1}(x) \eta_{n_2 l_1}(x) dx.$$

Последний интеграл сходится при  $l_1 + v > 0$  и в общем случае его можно представить в виде

$$\alpha_{n_1, n_2}^{l, v} = 2\lambda \sqrt{A_{n_1}^v} \sqrt{A_{n_2}^v} \left( \frac{n_1 n_2 (n_1 + l)! (n_2 + l)!}{(n_1 - l - 1)! (n_2 - l - 1)!} \right)^{\frac{1}{2}} \times$$

$$\times \frac{\Gamma\left(l + v - \frac{1}{2}\right) \Gamma(n_1 - l - v + 1)}{\Gamma\left(l + \frac{3}{2}\right) \Gamma(n_1 + l + v) \Gamma(2 - v)} \times$$

$$\times {}_4F_3 \left[ \begin{matrix} -(n_2 - l - 1), (n_2 + l + 1), l + v - \frac{1}{2}, v - 1 \\ l + \frac{3}{2}, l + v - n_1, l + v + n_1 \end{matrix} \middle| 1 \right].$$

Нормированные волновые функции для уравнения (11) будут

$$\Psi_n(\bar{k}) = \sqrt{\frac{2\lambda}{\gamma_n^{4-v} S_n}} \sum_{\mu} C_{\mu}(\gamma_n) \sqrt{A_{\mu}^v} \frac{\xi_{\mu}\left(\frac{\bar{k}}{\gamma_n}\right)}{(k^2 + \gamma_n^2)^{\frac{v-1}{2}}}, \quad (14)$$

$$S_n = \sum_{\mu} C_{\mu}^*(\gamma_n) C_{\mu}(\gamma_n).$$

Рассмотрим случай кулоновского потенциала (водородоподобного атома). Итак, при  $v = 2$ ,  $\lambda = \frac{Z}{\pi^2 a_b}$  ( $a_b = \frac{\hbar^2}{me^2} \approx 0.53 \text{ \AA}$  – Борвский радиус), а из (9с) –  $A_n^{(2)} = \frac{\pi^2}{n}$ . Очевидно,

что в (13)  $\alpha_{\mu_1, \mu_2}^v = \delta_{l_1, l_2} \delta_{m_1, m_2} \delta_{n_1, n_2} \frac{Z}{a_b n_1}$  и, таким образом, собственные значения

$\gamma_n = \frac{Z}{a_b n}$ , а собственные вектора –  $C_\mu(\gamma_n) = \delta_{\mu,n}$ . Нормированная волновая функция (в импульсном представлении) из (14) будет

$$\psi_n(\vec{k}) = \sqrt{\frac{2}{\gamma_n}} \frac{\xi_\mu\left(\frac{\vec{k}}{\gamma_n}\right)}{\sqrt{k^2 + \gamma_n^2}} = \sqrt{\frac{2}{\gamma_n}} \eta_{nl}\left(\frac{k}{\gamma_n}\right) Y_{lm}(\Omega_{\vec{k}}),$$

где  $\eta_{nl}\left(\frac{k}{\gamma_n}\right)$  определена из (7). Так как

$$\gamma_n^2 = \frac{2mE_n}{\hbar^2}, \text{ то } E_n = \varepsilon_b \frac{Z^2}{n^2}, \text{ где } \varepsilon_b = \frac{\hbar^2}{2ma_b^2}.$$

Для кулоновского поля функции Грина и двухчастичная матрица рассеяния в нашем представлении запишется в виде

$$G(\vec{p}_1, \vec{p}_2, E) = \frac{-1}{\varepsilon_b a_b^2 \gamma^3} \sum_\mu \frac{\gamma}{\gamma + \gamma_n} \frac{\xi_\mu(\vec{p}_1) \xi_\mu^*(\vec{p}_2)}{\sqrt{p_1^2 + \gamma^2} \sqrt{p_2^2 + \gamma^2}},$$

$$\gamma^2 = \frac{2mE}{\hbar^2},$$

$$t(\vec{p}_1, \vec{p}_2, E) = (2\pi)^{\frac{3}{2}} \frac{\varepsilon_b a_b^2}{\gamma^3} \times$$

$$\times \sum_\mu \frac{\gamma_n}{\gamma + \gamma_n} \sqrt{p_1^2 + \gamma^2} \sqrt{p_2^2 + \gamma^2} \xi_\mu(\vec{p}_1) \xi_\mu^*(\vec{p}_2).$$

При  $v = 0$  и  $\lambda = -u_0$  (что соответствует  $\delta(\vec{r})$ -образному потенциалу в координатном представлении) получим из (9с), что  $A_n^{(0)} = \frac{\pi^2}{4} \delta_{n,0}$ ,

а из (13)  $\alpha_{\mu_1, \mu_2}^v = \delta_{l_1, 0} \delta_{l_2, 0} \delta_{m_1, 0} \delta_{m_2, 0} \delta_{n_1, 1} \delta_{n_2, 1} 2u_0 \pi^2$ .

Таким образом, будет одно собственное значение  $\gamma_1 = \sqrt{\frac{2mE_1}{\hbar^2}} = \frac{1}{2u_0 \pi^2}$ ,  $E_1 = \frac{\hbar^2}{8m\pi^4 u_0^2}$ . Из

(14) получим с точностью до фазового множителя одно собственное значение ( $C_\mu(\gamma_1) = 1$ )

$$\begin{aligned} \psi_n(\vec{k}) &= \frac{1}{2\sqrt{\gamma_1^5}} \sqrt{k^2 + \gamma_1^2} \eta_{1,0}\left(\frac{k}{\gamma_1}\right) Y_{0,0}(\Omega_{\vec{k}}) = \\ &= 2\sqrt{\frac{\gamma_1}{\pi}} \frac{Y_{0,0}(\Omega_{\vec{k}})}{(k^2 + \gamma_1^2)} = \frac{\sqrt{\gamma_1}}{\pi(k^2 + \gamma_1^2)}. \end{aligned}$$

Для локальных потенциалов в координатном представлении ядро интегрального уравнения (11)

$$K(\vec{p}_1, \vec{p}_2) = -\frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}}} \frac{2m}{\hbar^2} U(\vec{p}_1 - \vec{p}_2), \quad (15)$$

где

$$U(\vec{p}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}}} \int d^3\vec{r} U(\vec{r}) e^{-i\vec{p}\vec{r}}. \quad (16)$$

Для парных потенциалов (в координатном представлении) вида

$$U(\vec{r}) = \frac{\lambda}{r^s} \quad (17)$$

импульсное представление потенциала можно представить как предел (который представляет Фурье-образ потенциала (17) с твердой сердцевиной радиуса  $\delta$ )

$$U(\vec{p}) = \frac{-1}{p^{3-s}} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\Gamma(s-1) \cos\left(\frac{\pi s}{2}\right)} +$$

$$+ \sqrt{\frac{2}{\pi}} \lim_{\delta \rightarrow 0} \delta^{3-s} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (p\delta)^{2k}}{(2k+1)!(s-3-2k)},$$

при  $s < 3$   $U(\vec{p})$  определено, но в то же время выражение (9а) определено при  $3-s < 3$  и, таким образом, решения (13) и (14) определены для потенциала (17) при ограниченных условиях  $0 < s < 3$ .

При  $s < 0$  из (18) и (9а) следует, что ядро в (11) не определено и имеет сингулярности. При  $s > 3$  выражение (9а) определено, но из (18) видно, что с добавленными сингулярными членами, кроме того, в этом случае добавляются сингулярности из матричных элементов (13). Таким образом, можно сказать, что наложение ограничения для  $0 < s < 3$  в (17), а также применение (9а) к (11) для ее решения в общем случае имеет методический интерес. Однако в некоторых частных случаях, которые предоставим в дальнейшем, при некоторых  $s_k > 3$  и  $\lambda_k$  потенциалы вида (17)

$$U(\vec{r}) = \sum_k \frac{\lambda_k}{r^{s_k}}$$

допускают решения из-за наложения сингулярных членов из (18) и (13), и отбрасыва-

нием тех решений при собственных значениях из (13), равным по величине бесконечности, так как этим собственным значениям соответствуют энергии

$$\gamma^{2-s_k} = \left( \frac{\hbar^2}{2m|E|} \right)^{\frac{s_k-2}{2}} \text{ при } E=0 \text{ и соответст-}$$

венно из (14) и (7) волновым функциям  $\psi(\vec{k})=0$ . Основная трудность при этом возникает при выделении решения при  $\gamma=0$ , так как при  $s_k > 2$  происходит падение частицы на центр  $|E| \rightarrow \infty$ . Ввиду этого удобнее решать уравнения с потенциалами вида (17) с ограничением при  $r < \delta$   $U(\vec{r})=0$ , что из (16) приводит к виду (18).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Т. 3. М.: Наука, 2003.
2. Бейтмен Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. Т. 1. М.: Наука, 1965.
3. Cohl H.S. On a generalization of the generating function for Gegenbauer polynomials, Integral Trans-

forms and Special Functions. V. 24, N 10 (2013). P. 807–816.

4. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Наука, 1963
5. Переломов А.М., Попов В.С. Группа Лоренца как динамической группы симметрии атома водорода // ЖЭТФ. 1966. Т. 50, № 1. С. 179–198.
6. Fock V.A. Zur Theorie des Wasserstoffatoms // Zs. f. Phys. 1935. № 98. S. 145–154.

#### References

1. Prudnikov A.P., Brychkov Yu.A., Marichev O.I. Integrals and series. Vol. 3. Moscow, Nauka, 2003. 688 p.
2. Bateman H., Erdelyi A. Higher transcendental functions. Vol. 1. Russian edition. Moscow, Nauka, 1965. 296 p.
3. Cohl H.S. On a generalization of the generating function for Gegenbauer polynomials. Integral Transforms and Special Functions, 2013, vol. 24, no. 10, pp. 807–816.
4. Gradshteyn I.S., Ryzhik I.M. Table of integrals, series and products. Moscow, Nauka, 1963. 1100 p.
5. Perelomov A.M., Popov V.S. The Lorentz group as a dynamic symmetry group of the hydrogen atom. Zhurnal eksperimentalnoy i teoreticheskoy fiziki, 1966, vol. 50, no. 1, pp. 179–198.
6. Fock V.A. Zur Theorie des Wasserstoffatoms // Zs. f. Phys. 1935, Bd. 98, s. 145–154.

## EXPANSION OF POWER POTENTIAL ON THE BASIS OF THE GENERALIZED HEINE FORMULA

© R.F. Akhmetyanov, E.S. Shikhovtseva

Institute of Molecule and Crystal Physics, Ufa Scientific Centre, RAS,  
151, prospect Oktyabrya, 450075, Ufa, Russian Federation

In this work we perform the derivation of the  $(\bar{x} - \bar{y})^{-\nu}$  expansion. Formulas of such a type are very useful in calculating the spectrums of power potentials in the Schrödinger equation, spherically symmetric solutions of the Laplace equation and other equations of mathematical physics allowing the solutions in hypergeometric functions. As an example, we consider the integral Schrödinger equation with potentials of the  $1/r^\nu$  type at  $0 < \nu < 3$ .

Key words: Legendre function, Gegenbauer polynomial, hypergeometric function.

## ПРОТИВОРЕЧИЯ КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОГО ОБОБЩЕНИЯ

© И.П. Попов

Отмечено, что наряду с тем, что последовательность рассуждений при корпускулярно-волновом обобщении энергии фотона на энергию инертной частицы в волновой форме записи на первый взгляд представляется убедительной, не было принято во внимание, что эти энергии имеют и другую форму записи, а именно – механическую. При этом в нерелятивистской квантовой теории аддитивная составляющая энергии, как правило, не учитывается. Показано, что инертность частицы принципиально отличает ее от безмассового фотона, что проявляется в возникновении множителя  $1/2$  в выражении для кинетической энергии. Установлено, что противоречие между волновой формой записи энергий фотона и инертной частицы, с одной стороны, и их механической формой записи – с другой, заключается, таким образом, в том, что принципиально неизоморфные в математическом смысле величины энергий фотона и инертной частицы в механической форме записи субъективно постулируются в виде произвольного изоморфизма в виде волновой формы записи. Отмечено, что указанное противоречие не может не породить другие противоречия, два из которых рассматриваются в работе. В ранней работе показано, что факт возникновения интерференционной и дифракционной картин от единичных частиц совместим с единственным значением фазовой скорости волновой функции, равным скорости частицы. Расчет фазовой скорости при условии справедливости существующего волнового обобщения дает другие значения, что, таким образом, вступает в противоречие с многочисленными экспериментами. Далее рассматривается абстрактный математический формализм, в основу которого положено классическое уравнение прямолинейного равномерного движения свободной инертной нерелятивистской частицы, которое трансформируется в ряд тождеств, последнее из которых имеет существенное сходство с волновой функцией. Установлено, что применение к ней обратной последовательности рассуждений приводит к результату, который противоречит элементарному здравому смыслу. Показано, что противоречия могут быть разрешены, если в логике корпускулярно-волнового обобщения учесть инертность частиц, которая формально проявляется в возникновении множителя  $1/2$  в выражении для волновой энергии инертной частицы.

Ключевые слова: фотон, инертная частица, волновая энергия, механическая энергия, изоморфизм.

Последовательность рассуждений при корпускулярно-волновом обобщении [1] на первый взгляд представляется убедительной:

$$E_w = \hbar\omega_w \Rightarrow E_m = \hbar\omega_m, \quad (1)$$

где  $E_w$  – энергия фотона,  $E_m$  – энергия инертной частицы,  $\hbar$  – постоянная Планка,  $\omega$  – частота.

Вместе с тем не было принято во внимание, что величины  $E_w$  и  $E_m$  имеют и другую форму записи:

$$E_w = p_w c, \quad (2)$$

$$E_m = \sqrt{p_m^2 c^2 + m_0^2 c^4} = m_0 c^2 + \frac{m_0 v_m^2}{2} + \dots = (m_0 c) c + \frac{p_m v_m}{2} + \dots, \quad (3)$$

где  $p$  – импульс,  $v$  – скорость,  $m_0$  – масса покоя частицы,  $c$  – скорость света.

В нерелятивистской квантовой теории аддитивная составляющая энергии, как правило, не учитывается [2] и

$$E_m = \frac{p_m v_m}{2}. \quad (4)$$

Инертность частицы принципиально отличает ее от безмассового фотона, что проявляется в возникновении множителя  $1/2$  в (3) и (4).

Противоречие между (1) с одной стороны и (2), (3), (4) – с другой заключается, таким образом, в том, что принципиально неизоморфные в математическом смысле величины  $E_w$  и  $E_m$  ((2) и (3), (4)) субъективно по-



стируются в виде произвольного изоморфизма (1).

Указанное противоречие не может не породить другие противоречия, два из которых рассматриваются далее.

**Логика экспериментов.** В [3] показано, что факт возникновения интерференционной и дифракционной картин от единичных частиц совместим с единственным значением фазовой скорости волновой функции, равным скорости частицы. Расчет фазовой скорости при условии (1) дает другие значения, что, таким образом, вступает в противоречие с многочисленными экспериментами.

**Абстрактный математический формализм.** В его основу положено классическое уравнение прямолинейного равномерного движения свободной инертной нерелятивистской частицы, которое может быть трансформировано в ряд тождеств:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}t, \quad (5)$$

$$\mathbf{r}_0 = -(\mathbf{v}t - \mathbf{r}),$$

$$\frac{i}{\hbar} m \mathbf{v} \mathbf{r}_0 = -\frac{i}{\hbar} (mv^2 t - m \mathbf{v} \mathbf{r}),$$

$$Ce^{\frac{i}{\hbar} \mathbf{p} \mathbf{r}_0} = Ce^{-\frac{i}{\hbar} (mv^2 t - m \mathbf{v} \mathbf{r})} = \Theta(\mathbf{r}, t), \quad (6)$$

где  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор в  $\mathbb{R}^3$ , в конце которого находится частица.

Функция  $\Theta(\mathbf{r}, t)$  и есть абстрактный математический формализм, имеющий существенное сходство с волновой функцией [2]

$$\Psi = Ce^{-\frac{i}{\hbar} \left( \frac{mv^2}{2} t - m \mathbf{v} \mathbf{r} \right)}. \quad (7)$$

Применение к (7) последовательности рассуждений, обратных (5)–(6), приводит к следующему результату:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \frac{\mathbf{v}}{2} t, \quad (8)$$

который противоречит (5) и элементарному здравому смыслу.

Выражение (6) не претендует на квантовое описание. В то же время оно математически не противоречиво.

Выражение (7), являясь следствием (1), претендует на квантовое описание. В то же

время его нельзя признать математически приемлемым.

Указанное противоречие также порождено противоречием между (1) и (2), (3), (4).

**Возможный вариант разрешения противоречий.** Противоречия могут быть разрешены, если в логике корпускулярно-волнового обобщения учесть инертность частиц. Тогда вместо (1) можно записать:

$$E_w = p_w v_w \Leftrightarrow E_m = \frac{p_m v_m}{2},$$

$$E_w = \hbar \omega_w \Rightarrow E_m = \frac{\hbar \omega_m}{2}. \quad (9)$$

Или с учетом (3):

$$E_w = p_w v_w \Leftrightarrow E_m = m_0 c^2 + \frac{p_m v_m}{2},$$

$$E_w = \hbar \omega_w \Rightarrow E_m = \hbar \omega_c + \frac{\hbar \omega_m}{2}.$$

Здесь учитывается следующее:

$$m_0 c = \frac{h}{\lambda_c},$$

$$m_0 c^2 = \frac{hc}{\lambda_c} = h \nu_c = \hbar \omega_c,$$

где  $\lambda_c$ ,  $\nu_c$ ,  $\omega_c$  – комптоновские длина волны и частота.

Нетрудно видеть, что правая часть (9) разрешает все указанные противоречия.

Фазовая скорость волновой функции

$$\mathbf{v}_\varphi = \frac{\omega}{\mathbf{k}} = \frac{\hbar \omega}{\hbar \mathbf{k}} = \frac{mv^2}{m \mathbf{v}} \cdot \frac{\mathbf{v}}{\mathbf{v}} = \mathbf{v},$$

что подтверждается экспериментами. Здесь учитывается импульс  $\mathbf{p} = m \mathbf{v} = \hbar \mathbf{k}$ .

Волновая функция

$$\begin{aligned} \Psi &= Ce^{-i(\omega t - \mathbf{k} \mathbf{r})} = Ce^{-\frac{i}{\hbar} (\hbar \omega t - \hbar \mathbf{k} \mathbf{r})} = \\ &= Ce^{-\frac{i}{\hbar} (2E - \mathbf{p} \mathbf{r})} = Ce^{-\frac{i}{\hbar} (mv^2 t - m \mathbf{v} \mathbf{r})} \end{aligned}$$

не компрометируется выражением (8).

**Заключение.** Корпускулярно-волновое обобщение, выполненное без учета принципиальной разницы между безынерционными фотонами и инертными частицами, порождает ряд противоречий, которые разрешаются с учетом инертности частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луи де Бройль. Введение в волновую механику. М.: УРСС, 2005.
2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. М.: Наука, 1976.
3. Попов И.П. Скорость распространения волновой функции // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 42–43.

References

1. de Broglie L. La Mecanique ondulatoire, Gauthier-Villars, 1928. Russian edition. Moscow, URSS, 2005. 232 p.
2. Blokhintsev D.I. Fundamentals of quantum mechanics. Moscow, Nauka, 1976. 664 p.
3. Popov I.P. The propagation velocity of the wave function. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 2015, no. 4, pp. 42–43.



CONTRADICTIONS OF WAVE-PARTICLE GENERALIZATION

© I.P. Popov

High-Tech Centre JSC,  
106, ulitsa Tomina, 640002, Kurgan, Russian Federation

As noted in this paper, in addition to the fact that the sequence of arguments in the wave-particle generalization of the photon energy to that of inert particles in the waveform notation seems convincing at first sight. Yet, it was not taken into account that these energies also have the mechanical notation. The additive component of the energy is usually not considered in the non-relativistic quantum theory. It is shown that the inertness of particles distinguishes them radically from massless photons, which fact is manifested itself in the appearance of the factor  $1/2$  in the expression for the kinetic energy. It is found that the contradiction between the waveform notation of the energies of photons and inert particles, on the one hand, and their mechanical notation, on the other hand, implies that essentially different (mathematically non-isomorphic) energies of photons and inert particles in the mechanical notation are subjectively postulated as arbitrary isomorphism in the waveform notation. It is noted that this contradiction cannot help but generate other discrepancies, two of which are discussed in this paper. As shown in our earlier work, the fact of the occurrence of interference and diffraction patterns from single particles is compatible with the single value of phase velocity of the wave function equal to the speed of the particles. Calculation of the phase velocity in terms of the validity of the existing wave generalization gives other values being at odds with numerous experiments. In what follows the paper considers the abstract mathematical formalism on the basis of the classical equation of rectilinear uniform motion of a free inert non-relativistic particle transformed into a series of identities, the latter of which has a significant resemblance to the wave function. It is found that the application of the reverse order of reasoning results in conflict with basic common sense. It is shown that the conflict can be resolved if the logic of wave-particle generalization allows for particle inertness, which formally manifests itself in the appearance of the factor  $1/2$  in the expression for the wave energy of an inert particle.

Key words: photon, inert particles, wave energy, mechanical energy, isomorphism.

УДК 581.9(470.4)

## ГАЛОФИТЫ ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОН ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ: CHENOPODIACEAE

© В.М. Васюков, Н.А. Юрицына

Во флоре Приволжской возвышенности произрастает около 80 видов семейства Chenopodiaceae, часть из них в лесостепной и степной зонах региона являются эдификаторами и (со)доминантами различных галофильных растительных формаций. Из них 36 видов облигатных галофитов: *Anabasis aphylla* L., *A. salsa* (C.A. Mey.) Benth., *Atriplex aucheri* Moq., *A. intracontinentalis* Sukhor., *A. micrantha* C.A. Mey., *A. patens* (Litv.) Iljin, *A. sphaeromorpha* Iljin, *Bassia hyssopifolia* (Pall.) Kuntze, *Camphorosma monspeliaca* L., *C. songorica* Bunge, *Caroxylon laricinum* (Pall.) Tzvelev, *C. nitrarium* (Pall.) Akhani et Roalson, *Climacoptera crassa* (M. Bieb.) Botsch., *Halimione pedunculata* (L.) Aellen, *H. verrucifera* (M. Bieb.) Aellen, *Halimocnemis sclerosperma* (Pall.) C.A. Mey., *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M. Bieb., *Neocaspia foliosa* (L.) Tzvelev, *Ofaiston monandrum* (Pall.) Moq., *Oxybasis chenopodioides* (L.) S. Fuentes, Uotila et Borsch, *Petrosimonia brachyphylla* (Bunge) Iljin, *P. glauca* (Pall.) Bunge, *P. litwinowii* Korsh., *P. monandra* (Pall.) Bunge, *P. oppositifolia* (Pall.) Litv., *P. triandra* (Pall.) Rechinger, *Pyankovia brachiata* (Pall.) Akhani et Roalson, *Salicornia perennans* Willd., *Salsola acutifolia* (Bunge) Botsch., *S. soda* L., *Spirobassia hirsuta* (L.) Freitag et G. Kadereit, *Suaeda acuminata* (C.A. Mey.) Moq., *S. prostrata* Pall., *S. salsa* (L.) Pall., *Sukhorukovia cana* (C.A. Mey.) Vasjukov (nom. prov.), *Xylosalsola arbuscula* (Pall.) Tzvelev; 24 – редкие виды, находящиеся на границе своего ареала.

Ключевые слова: галофиты, Chenopodiaceae, Приволжская возвышенность.

Chenopodiaceae Vent. – одно из самых разнообразных в структурно-функциональном и экологическом отношении семейств растительного мира. За последнее десятилетие, с момента начала молекулярно-филогенетических исследований группы, углубились знания о взаимоотношениях таксонов, накопились новые данные по видовому составу и хорологии, что позволило создать новую сводку по галофитным маревым Приволжской возвышенности. Маревые в лесостепной, степной, пустынной зонах России являются эдификаторами или (со)доминантами различных галофильных растительных сообществ и приобретают важное хозяйственное значение [1–10].

Регион исследований охватывает Приволжскую возвышенность, расположенную вдоль среднего и нижнего течения р. Волга от Нижнего Новгорода до Волгограда (б. ч. Пензенской обл. и Респ. Мордовия, Предволжье Респ. Чувашия,

Марий Эл, Татарстан, Волгоградской, Нижегородской, Самарской, Саратовской, Ульяновской обл. и восток Тамбовской обл.). Флора включает около 2500 видов сосудистых растений (Васюков, ined.).

При создании настоящей сводки отражены существующие на сегодняшний момент таксономические новации для семейства Chenopodiaceae и собраны наиболее полные сведения по распространению видов семейства, основываясь как на собственных исследованиях, так и на критическом анализе гербарных фондов (LE, MW, РКМ, PVB, TLT, VOLG и др.) и литературных данных. Для видов приведены латинское и русское названия, жизненная форма, экологический топос, встречаемость и распространение в лесостепной и степной зонах Приволжской возвышенности. Номенклатура и расположение таксонов приняты, в основном, по монографии А.П. Сухорукова [8].

ВАСЮКОВ Владимир Михайлович – к.б.н., Институт экологии Волжского бассейна РАН,  
e-mail: vvasjukov@yandex.ru

ЮРИЦЫНА Наталья Алексеевна – к.б.н., Институт экологии Волжского бассейна РАН,  
e-mail: natyur@mail.ru

В тексте приведены сокращения: Волг. – Волгоградская обл., Пенз. – Пензенская обл., Самар. – Самарская обл., Саратов. – Саратовская обл., Тамб. – Тамбовская обл., Ульянов. – Ульяновская обл.; д. – деревня; одн. – однолетний монокарпик; одн. succ. – суккулентный однолетний монокарпик; окр. – окрестность; пкч. – полукустарничек; пкч. succ. – суккулентный полукустарничек; р-н – район; с. – село; ст. – станция.

Семейство Chenopodiaceae на территории Приволжской возвышенности включает более 80 видов. К числу облигатных галофитов семейства Chenopodiaceae нами отнесено 36 видов и ниже приведен обзор; 24 вида известны в единичных местонахождениях, преимущественно в южной части региона и находятся на северной или северо-западной границе ареала.

Fam. Chenopodiaceae

Subfam. Chenopodioideae

Род *Oxybasis* Kar. et Kir., Bull. Soc. Imp. Nat. Mosc. 14: 738 (1841).

*O. chenopodioides* (L.) S. Fuentes, Uotila et Borsch, Willdenowia 42(1): 15 (2012). – *Blitum chenopodioides* L. 1771, Mant. Pl. 2: 170 (1771). – *Chenopodium chenopodioides* (L.) Aellen, Ostenia: 98 (1933). Одн. Солончаки, солонцы. Довольно редко в приволжских р-нах: Волг., Саратов. (Саратов, близ д. Атамановка) (LE, MW, VOLG), Самар. (по р. Тешерек) (PVB).

Род *Atriplex* L., Sp. Pl.: 1051 (1753).

*A. aucheri* Moq. Chenop. Monogr. Enum.: 51 (1840). Одн. Солончаки. Довольно редко: Волг. (окр. Волгограда, Камышина) (LE, VOLG).

*A. intracontinentalis* Sukhor., Ann. Naturhist. Mus. Wien 107 B: 349 (2006). Одн. Солонцы, солончаки. Нередко, на юге чаще: Волг., Пенз., Самар., Саратов., Ульянов. (LE, MW, PVB, VOLG).

*A. micrantha* C.A. Mey. in Ledeb., Icon. Pl. Fl. Ross. 1: 11 (1829). – *A. heterosperma* Bunge, Reliq. Lehmann.: 272 (1851). Одн. Солончаки. Нередко: Волг., реже Саратов. (Саратов, близ д. Атамановка) (LE, MW, PVB, VOLG).

*A. patens* (Litv.) Iljin, Изв. Бот. сада АН СССР 26(4): 415 (1927). – *A. littoralis* L. var. *patens* Litv., Sched. Herb. Fl. Ross. 5: 12 (1905). Одн. Солончаки. Довольно редко в приволжских р-нах, на юге чаще и иногда содоминирует в сообществах: Волг., Саратов., юг Ульянов. (LE, PVB, VOLG).

*A. sphaeromorpha* Iljin, Бюл. Гл. бот. сада 26(4): 414 (1927). Одн. Солонцы, солончаки. Довольно редко: Волг. (Камышин и южнее) [4] и ранее указан как заносное в Саратовском Предволжье, но достоверно известен только в Заволжье.

Род *Sukhorukovia* Vasjukov, nom. prov.

*S. cana* (C.A. Mey.) Vasjukov, nom. prov. – *Atriplex cana* C.A. Mey. in Ledeb., Ic. Pl. Fl. Ross. 1: 11 (1829). – *Halimus canus* (C.A. Mey.) Claus, 1851, Beitr. Pflanzenk. Russ. Reich. 8: 251, nom. illeg. Пкч. Солончаки. Довольно редко: Волг. (окр. Волгограда) (LE, VOLG).

Род *Halimione* Aellen, Verh. Naturf. Ges. Basel 49: 121 (1938).

*H. pedunculata* (L.) Aellen, Verh. Naturf. Ges. Basel 49: 123 (1938). – *Atriplex pedunculata* L., Amoen. Acad. 4: 108 (1759). Одн. succ. Солончаки. Довольно редко, на юге чаще: Волг., Саратов. в приволжских р-нах и окр. Балашова; в сообществах обычно необилен (LE, MW, PVB, VOLG).

*H. verrucifera* (M. Bieb.) Aellen, Verh. Naturf. Ges. Basel 49: 121 (1938). – *Atriplex verrucifera* M. Bieb., Fl. Taur.-Cauc. 2: 441 (1808). Пкч. succ. Солончаки. Довольно редко: Волг. (Волгоград, Камышин, по р. Иловле) (LE, MW, PVB, VOLG); старое указание для окр. Саратова сомнительно (достоверно известен только в Заволжье).

Subfam. Salicornioideae Ulbr.

Род *Salicornia* L., Sp. Pl.: 3 (1753).

*S. perennans* Willd., Sp. Pl. 1: 24 (1797). – *S. prostrata* Pall., Ill. Pl.: 8, tab. 3 (1803). Одн. succ. Солонцы, солончаки. Нередко: Волг., Пенз. (Сердобск), Самар., Саратов., Тамб. (юго-восток), Ульянов. (юг); иногда (со)доминирует в сообществах (LE, MW, PVB, VOLG) [10].

Род *Halocnemum* M. Bieb., Fl. Taur.-Cauc. 3: 3 (1819).

*H. strobilaceum* (Pall.) M. Bieb., Fl. Taur.-Cauc. 3: 3 (1819). Пкч. succ. Солончаки. Довольно редко: окр. Волгограда; иногда на юге (со)доминирует в сообществах (Сарепта) (LE, PVB, VOLG) [1].

Subfam. Suaedoideae Ulbr.

Род *Suaeda* Forssk. ex Scop., Intr. Hist. Nat.: 333 (1777) nom. cons.

*S. acuminata* (C.A. Mey.) Moq., Ann. Sci. Nat. (Paris) 23: 306 (1831). – *Schoberia acuminata* C.A. Mey. in Ledeb., Fl. Alt. 1: 398 (1829). – *Suaeda*

*confusa* Iljin, Фл. Юго-Востока 4: 196 (1930). Одн. succ. Солонцы, солончаки. Довольно редко, на юге чаще: Волг., Саратов, Ульянов. (окр. с. Вязовки) (LE, PVB, VOLG); вид на юге иногда содоминирует в сообществах (р-н Сарепты).

***S. prostrata*** Pall., Ill. Pl.: 55, tab. 47 (1803). Одн. succ. Солонцы, солончаки. Нередко, местами чаще: Волг., Пенз. (Сердобск), Самар., Саратов, юг Ульянов. (LE, MW, PVB, VOLG); иногда содоминирует в сообществах (PVB).

***S. salsa*** (L.) Pall., Ill. Pl.: 46 (1803). – *Chenopodium salsum* L., Sp. Pl.: 221 (1753). Одн. succ. Довольно редко: окр. Волгограда; на юге содоминирует в сообществах с *Salicornia perennans* (р-н Сарепты) (PVB).

На засоленных и вторичных экотопах в Волг. (Сарепта) произрастает *S. altissima* (L.) Pall. [*Schoberia altissima* (L.) C.A. Mey.] [6].

– *S. corniculata* (C.A. Mey.) Bunge и *S. kulundensis* Lomon. et Freitag показаны для Предволжья Самар. [5], но данные указания, видимо, относятся к Заволжью.

Subfam. Salsoloideae Raf. (incl. Camphorosmioideae A.J. Scott)

Род ***Camphorosma*** L., Sp. Pl.: 122 (1753).

***C. monspeliaca*** L., Sp. Pl.: 122 (1753). Одн. Солонцы, солончаки. Довольно редко в приволжских р-нах, к югу чаще: Волг., Саратов. (Хвалынский, Саратов) (LE, MW, PVB, VOLG).

***C. songorica*** Bunge, Тр. Петерб. Имп. Бот. сада 6: 415 (1879). Одн. Солончаки. Довольно редко: Волг. (по р. Иловле, Волгоград) (VOLG) и показан для востока Среднего Поволжья [9]. До сих пор остается неясным вопрос об ареале и надежных морфологических отличиях этого вида от средневропейского, более голого таксона *C. annua* Pall. [7].

Род ***Bassia*** All., Melanges Phil. Mat. Soc. Roy. Turin. 3: 177 (1766).

***B. hyssoifolia*** (Pall.) Kuntze, Rev. Gen. Pl. 2: 547 (1891). Одн. succ. Солонцы, солончаки. Довольно редко в приволжских р-нах: Волг. (Волгоград), Саратов (окр. Саратова) (LE, MW, PVB, VOLG), Самар. (окр. Сызрани) [3], Ульянов. (окр. ст. Рябина) [7, 8].

Род ***Spirobassia*** Freitag et G. Kadereit, Taxon 60(1): 71 (2011).

***S. hirsuta*** (L.) Freitag et G. Kadereit, Taxon 60(1): 71 (2011). – *Chenopodium hirsutum* L., Sp.

Pl.: 221 (1753). – *Bassia hirsuta* (L.) Asch. in Schweinfurth, Beitr. Fl. Aethiop. 1: 187 (1867) in adn. Одн. succ. Солончаки. Редко: Волгоград (VOLG).

Род ***Caroxylon*** Thunb., Nov. Gen. Pl. 2: 37 (1782)

***C. laricinum*** (Pall.) Tzvelev, Укр. бот. журн. 50(1): 81 (1993). – *Salsola laricina* Pall., Ill.: 21 (1803). Пкч. succ. Солонцы, солончаки. Довольно редко, на юге чаще: Волг., Саратов. (Саратов, д. Атамановка) (LE, MW, PKM, PVB, VOLG).

***C. nitrarium*** (Pall.) Akhani et Roalson, Int. J. Pl. Sci. 168(6): 947 (2007). – *Salsola nitraria* Pall., Ill. Pl.: 23 (1803). – *Nitrosalsola nitraria* (Pall.) Tzvelev, Укр. бот. журн. 50(1): 80 (1993). Одн. succ. Солонцы, солончаки. Редко: Волгоград [6].

Род ***Pyankovia*** Akhani et Roalson, Int. J. Pl. Sci. 168(6): 949 (2007).

***P. brachiata*** (Pall.) Akhani et Roalson, Int. J. Pl. Sci. 168(6): 949 (2007). – *Salsola brachiata* Pall., Ill. Pl. 30 (1803). – *Climacoptera brachiata* (Pall.) Botsch., Сб. работ, посв. Акад. Сукачеву: 114 (1956). Одн. Солончаки. Довольно редко: Волг. (окр. с. Пичуги Дубовского р-на, Волгоград) [6] и сомнительно указан для Предволжья Саратов. (достоверно известен в Заволжье).

Род ***Climacoptera*** Botsch., Сб. работ, посв. Акад. Сукачеву: 111 (1956).

***C. crassa*** (M. Bieb.) Botsch., Сб. работ, посв. Акад. Сукачеву: 112 (1956). – *Salsola crassa* M. Bieb., Mem. Soc. Nat. Mosc. 1: 100 (1806). Одн. succ. Солончаки. Редко: Волг. (Дубовка, Волгоград) (LE) и по старым данным в Саратов. (Саратов) [2, 9] (достоверно известен в Заволжье Саратов.).

Род ***Petrosimonia*** Bunge, Anabas. Rev.: 52 (1862).

***P. brachyphylla*** (Bunge) Iljin, Материалы комиссии экспедиц. исслед. АН 26(2): 282 (1930). – *P. crassifolia* var. *brachyphylla* Bunge, Anabas. Rev.: 56 (1862). Одн. succ. Солончаки. Редко: Волг. (старый сбор из Сарепты) [7].

***P. glauca*** (Pall.) Bunge, Anabas. Revis.: 58 (1862). – *Polycnemum glaucum* Pall., Ill. Pl.: 63, tab. 53, 54 (1803). – *P. glaucescens* (Bunge) Iljin, Материалы комиссии экспедиц. исслед. АН 26(2): 280 (1930). Одн. succ. Солончаки. Редко: Волг. (Волгоград) (LE, VOLG); ошибочно указан для юга Ульянов. (окр. с. Панышино).

*P. litwinowii* Korsh., Tent. Fl. Ross. Orient.: 358 (1898). – *P. diandra* Litv., Список раст. Русск. Фл. 7: 145 (1911). Оdn. succ. Солонцы, солончаки. Довольно редко: Волг. (Ольховка), Самар. (Сызранский р-н, Урусовский уч.), Саратов. (окр. Саратова и окр. с. Бакур Екатериновского р-на), Ульянов. (окр. с. Красное Новоспасского р-на, окр. с. Паньшино Радищевского р-на) (PKM, PVB, SARAT, VOLG); ошибочно указан для Пенз. (с. Екатериновка Сердобского р-на) [4], сведения относятся к Саратов. (окр. с. Бакур Екатериновского р-на).

*P. monandra* (Pall.) Bunge, Anabas. Rev.: 53 (1862). – *Polycnenum monandrum* Pall., Reise 1: 483 (1771). Оdn. succ. Солончаки. Довольно редко: Волг. (Волгоград, устье р. Даниловки на границе с Саратов.) (LE, VOLG), сбор 1916 г. из окр. Саратова (LE) [9].

*P. oppositifolia* (Pall.) Litv., Список раст. Герб. Русск. фл. 7: 13 (1911). Оdn. succ. Солончаки. Довольно редко: Волг. (Камышин, Волгоград) (LE, PVB, VOLG); на юге иногда содоминирует в сообществах (р-н Сарепты).

*P. triandra* (Pall.) Rechinger, Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien 39: 244 (1889). – *Polycnenum triandrum* Pall., Reise 1, app.: 483 (1771). Оdn. succ. Солончаки. Довольно редко: Волг. (по р. Иловле, Волгоград), Саратов. (Саратов, Хвалынский) (LE, MW, PVB, VOLG), Ульянов. (окр. с. Красное Новоспасского р-на, окр. с. Паньшино Радищевского р-на) (PVB).

– *P. brachiata* (Pall.) Bunge показан для юга Ульянов. (окр. с. Паньшино) ошибочно.

Род *Ofaiston* Raf., Fl. Tellur. 3: 46 (1837).

*O. monandrum* (Pall.) Moq. in DC., Prodr. 13(2): 203 (1849). – *Salsola monandra* Pall., Reise 3: 724 (1776). Оdn. Солончаки. Редко: Волгоград (LE, VOLG).

Род *Halimocnemis* C.A. Mey. in Ledeb., Fl. Alt. 1: 381 (1829).

*H. sclerosperma* (Pall.) C.A. Mey. in Ledeb., Fl. Alt. 1: (1829). – *Polycnenum sclerospermum* Pall., Reise 3: 725 (1776). Оdn. succ. Солончаки. Редко: Волгоград [4, 9].

Род *Salsola* L., Sp. Pl.: 222 (1753).

*S. acutifolia* (Bunge) Botsch., Бот. материалы герб. Бот. ин-та АН СССР 22: 29 (1963). – *S. mutica* C.A. Mey. in Becker, Bull. Soc. Nat. Mosc. 27(2): 455 (1854) nom. nud. Оdn. succ. Солончаки. Редко: Волг. (Волгоград, locus classicus *S. mutica*

[2], показан для окр. Саратова [9] (достоверно известен в Заволжье).

*S. soda* L., Sp. Pl.: 223 (1753). Оdn. succ. Солончаки. Довольно редко: Волг. (Волгоград и окр.) (LE, VOLG); указание для Предволжья Саратов. (Елшанка) [2, 4] относится к Предволжью Волг. (по ручью Елшанка к северу от Сарепты) [6].

Род *Xylosalsola* Tzvelev, Укр. бот. журн. 50(1): 81 (1993).

*X. arbuscula* (Pall.) Tzvelev, Укр. бот. журн. 50(1): 81 (1993). – *Salsola arbuscula* Pall., Reise 1: 487 (1771). Оdn. succ. Солончаки, каменистые склоны. Редко: Волг. (с. Белая Глинка Камышинского р-на, Сарепта) [4].

Род *Neocaspia* Tzvelev, Укр. бот. журн. 50(1): 81 (1993).

*N. foliosa* (L.) Tzvelev, Укр. бот. журн. 50(1): 81 (1993). – *Anabasis foliosa* L., Sp. Pl.: 223 (1753). Оdn. succ. Солончаки. Редко: Волгоград [3], ранее показан для окр. Саратова [2, 9].

Род *Anabasis* L., Sp. Pl.: 223 (1753).

*A. aphylla* L., Sp. Pl.: 223 (1753). Пкч. succ. Солончаки. Редко: Волгоград (LE, VOLG).

*A. salsa* (C.A. Mey.) Benth. in Engler et Prantl, Nat. Pflanzenfam. 3, 1a: 87 (1893). Пкч. succ. Солончаки. Редко: Волгоград (LE, VOLG).

Авторы благодарны за ценные консультации С.В. Саксонову, А.П. Сухорукову, В.А. Агафонову, М.А. Березуцкому, В.Б. Голубу, А.Г. Еленевскому, М.Н. Ломоносовой, Н.С. Ракову, В.А. Сагалаеву, Н.Н. Цвелеву Н. Freitag.

Исследования частично поддержаны грантом РФФИ № 14-04-97072 р\_поволжье\_a.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Голуб В.Б., Юрицына Н.А. Сообщества многолетних суккулентов в Северном Прикаспии // Растительность России. 2013. № 22. С. 21–28.
2. Еленевский А.Г., Буланый Ю.И., Радыгина В.И. Конспект флоры Саратовской области. Саратов, 2008. 232 с.
3. Ильин М.М. Chenopodiaceae Vent. // Флора СССР. М.; Л., 1936. Т. 6. С. 2–354, 873–880.
4. Ильин М.М. Vent. // Флора средней полосы Европейской части СССР. Л., 1964. С. 238–274.
5. Ломоносова М.Н. Suaeda Forssk. ex J.F. Gmel. // Маевский П.Ф. Флора средней полосы Европейской части России. М., 2014. С. 99–100.

6. Сагалаев В.А. Флора степей и пустынь Юго-Востока Европейской России, ее генезис и современное состояние: дис. ... д-ра биол. наук. М., 2000. 927 с.

7. Сухоруков А.П. Маревые Средней России. М., 1999. 35 с.

8. Сухоруков А.П. Карпология семейства Chenopodiaceae в связи с проблемами филогении, систематики и диагностики его представителей. Тула, 2014. 400 с.

9. Цвелев Н.Н. Chenopodiaceae Vent. // Конспект флоры Восточной Европы. М.; СПб., 2012. Т. 1. С. 270–272, 286–306.

10. Freitag H., Golub V.B., Yuritsyna N.A. Halophytic plant communities in the northern Caspian lowlands: annual halophytic communities // Phytocoenologia. 2001. Vol. 31, № 1. P. 63–108.

### References

1. Golub V.B., Yuritsyna N.A. Plant communities of perennial succulents in the Caspian Lowland. Rastitelnost Rossii. St. Petersburg, 2013, no. 22, pp. 21–28.

2. Elenevskiy A.G., Bulanyy Yu.I., Radygina V.I. Synopsis of the flora of the Saratov Province. Saratov, 2008. 232 p.

3. Ilyin M.M. Chenopodiaceae Vent. Flora SSSR. Moscow, Leningrad, 1936, vol. 6, pp. 2–354, 873–880.

4. Ilyin M.M. Chenopodiaceae Vent. Flora sredney polosy Evropeyskoy chasti SSSR. Leningrad, 1964, vol. 9, pp. 238–274.

5. Lomonosova M.N. Suaeda Forssk. ex J.F. Gmel. Maevskiy P.F. (ed.). Flora sredney polosy Evropeyskoy chasti Rossii. Moscow, 2014, pp. 99–100.

6. Sagalaev V.A. Flora of steppes and deserts of the southeast of European Russia, its genesis and current state. Dr. Sci. Thesis in Biology. Moscow, 2000. 927 p.

7. Sukhorukov A.P. Chenopodiaceae of Central Russia. Moscow, 1999. 35 p.

8. Sukhorukov A.P. The carpology of the Chenopodiaceae with reference to the phylogeny, systematics and diagnostics of its representatives. Tula, 2014. 400 p.

9. Tzvelev N.N. Chenopodiaceae Vent. Synopsis of the flora of East Europe. Moscow, St. Petersburg, 2012, vol. 1, pp. 270–272, 286–306.

10. Freitag H., Golub V.B., Yuritsyna N.A. Halophytic plant communities in the northern Caspian lowlands: Annual halophytic communities. Phytocoenologia, 2001, vol. 31, no. 1, pp. 63–108.

## HALOPHYTES IN THE FOREST-STEPPE AND STEPPE ZONES OF THE VOLGA UPLAND: CHENOPODIACEAE

© V.M. Vasyukov, N.A. Yuritsyna

Institute of Ecology of the Volga-River Basin, RAS,  
10, ulitsa Komzina, 445003, Tolyatti, Russian Federation

Flora of Volga Upland includes about 80 species of the family Chenopodiaceae. Some species in the forest-steppe and steppe zones are edifiers or (co)dominants of different halophytic plant formations. 36 species are obligate halophytes: *Anabasis aphylla* L., *A. salsa* (C.A. Mey.) Benth., *Atriplex aucheri* Moq., *A. intracontinentalis* Sukhor., *A. micrantha* C.A. Mey., *A. patens* (Litv.) Iljin, *A. sphaeromorpha* Iljin, *Bassia hyssopifolia* (Pall.) Kuntze, *Camphorosma monspeliaca* L., *C. songorica* Bunge, *Caroxylon laricinum* (Pall.) Tzvelev, *C. nitrarium* (Pall.) Akhani et Roalson, *Climacoptera crassa* (M. Bieb.) Botsch., *Halimione pedunculata* (L.) Aellen, *H. verrucifera* (M. Bieb.) Aellen, *Halimocnemis sclerosperma* (Pall.) C.A. Mey., *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M. Bieb., *Neocaspia foliosa* (L.) Tzvelev, *Ofaiston monandrum* (Pall.) Moq., *Oxybasis chenopodioides* (L.) S. Fuentes, Uotila et Borsch, *Petrosimonia brachyphylla* (Bunge) Iljin, *P. glauca* (Pall.) Bunge, *P. litwinowii* Korsh., *P. monandra* (Pall.) Bunge, *P. oppositifolia* (Pall.) Litv., *P. triandra* (Pall.) Rechinger, *Pyankovia brachiata* (Pall.) Akhani et Roalson, *Salicornia perennans* Willd., *Salsola acutifolia* (Bunge) Botsch., *S. soda* L., *Spirobassia hirsuta* (L.) Freitag et G. Kadereit, *Suaeda acuminata* (C.A. Mey.) Moq., *S. prostrata* Pall., *S. salsa* (L.) Pall., *Sukhorukovia cana* (C.A. Mey.) Vasjukov (nom. prov.), *Xylosalsola arbuscula* (Pall.) Tzvelev; including 24 rare species of the Volga Upland distributed on the border of their area.

Key words: halophytes, Chenopodiaceae, Volga Upland.

**ОЦЕНКА ВИТАЛИТЕТНОГО СОСТАВА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ  
ИНВАЗИВНОГО ВИДА *Ambrosia trifida* L.  
В ЮЖНОМ ПРЕДУРАЛЬЕ (ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

© Е.В. Пикалова, Л.М. Абрамова, А.Н. Мустафина

Представлены результаты исследования состояния и виталитетной структуры 20 природных ценопопуляций инвазивного вида *Ambrosia trifida* L. Амброзия трехраздельная – карантинное сорное растение, являющееся агрессором, подавляющим полевые культуры, а также наносящее серьезный вред здоровью населения, поскольку является источником сильнейших аллергенов. Данный вид относят к приоритетным видам-мишеням для изучения и контроля численности. В Оренбургской области специальных популяционных исследований *Ambrosia trifida* ранее проведено не было, несмотря на то, что вид достаточно широко распространен на данной территории, особенно в западных и центральных районах, и нуждается в контроле. Изучение виталитетной структуры наряду с биологическими и популяционными характеристиками помогает оценить успешность инвазии амброзии в новых местообитаниях. Анализ виталитетной структуры вида показал, что 9 ценопопуляций относятся к процветающим. Эти ценопопуляции произрастают в относительно благоприятных условиях: поймах рек, оврагах, затененных местообитаниях, на азотистых почвах. При этом в 2 ценопопуляциях присутствуют особи только высшего класса; в 5 – высшего и среднего класса; а в оставшихся 2 ценопопуляциях – особи всех трех классов. Одна ценопопуляция близка к равновесной и произрастает на унавоженном субстрате. 10 депрессивных ценопопуляций произрастают вдоль проезжей части, позади огородов, в местах выпаса скота на уплотненных почвах. В 5 ценопопуляциях присутствуют особи высшего, среднего и низшего класса; в 2 ценопопуляциях – особи двух классов; в 3 ценопопуляциях присутствуют особи только низшего класса. Для произрастания *Ambrosia trifida* наиболее благоприятными являются ненарушенные или слабо нарушенные местообитания, где процесс инвазии протекает успешно и продолжает набирать обороты. Проведенный кластерный анализ позволили объединить ценопопуляции в 4 кластера. В три отдельные группы выделились одна ценопопуляция с максимальными значениями большинства параметров морфометрии, еще две ценопопуляции – с минимальными значениями по большинству параметров, и одна ценопопуляция – с довольно высокими параметрами особей. Остальные 16 ценопопуляций объединились в одну группу со сходными морфометрическими параметрами.

Ключевые слова: *Ambrosia trifida* L., инвазивный вид, ценопопуляция, виталитетная структура.

Важной составляющей популяционной структуры является виталитет – характеристика жизненного состояния особей растений, выполняемая с опорой на морфометрические параметры, оценивающие рост, продукцию растений [1]. Соотношение в ценотической популяции особей разного уровня виталитета дает оценку общему уровню жизнеспособности популяции в конкретных условиях ме-

стообитания. Высокая информативность анализа виталитетного состава популяции обусловлена его первичностью по отношению к другим типам состава популяций.

Для чужеродных видов растений, активно расселяющихся в регионах и занимающих доминирующие позиции в растительных сообществах, оценка виталитетной структуры особенно важна, поскольку она показывает их

ПИКАЛОВА Екатерина Васильевна, Оренбургский государственный педагогический университет, Институт естествознания и экономики, e-mail: pikalova.e.v@mail.ru

АБРАМОВА Лариса Михайловна – д.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: abramova.lm@mail.ru

МУСТАФИНА Альфия Науфалевна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: alfvverta@mail.ru



инвазионный потенциал и способность к успешности инвазии. Тем не менее такую оценку проводят достаточно редко [2].

В Южном Предуралье (Оренбургская область) исследований по инвазивным видам растений проводилось достаточно мало. Первые упоминания о распространении видов, относящихся к инвазивным, содержатся в работах В.В. Никитина, Ю.Е. Алексеева, А.В. Попова, З.Н. Рябиной [3–6]. Данные виды произрастают на территории Оренбургской области и встречаются по нарушенным местообитаниям, на границе с Республикой Башкортостан, а также в западных и центральных районах.

Среди инвазивных видов растений выделяют группу приоритетных видов-мишеней, изучение которых должно быть первоочередной задачей для исследователей [7]. В ее составе – представители рода *Ambrosia* L., являющиеся карантинными сорняками во многих регионах мира. Виды амброзий не только засоряют посевы сельскохозяйственных культур, но и имеют пыльцу с сильно

выраженными аллергенными свойствами, что делает их опасными для здоровья человека.

В Оренбургской области встречаются 3 вида амброзий – *Ambrosia artemisiifolia* L., *Ambrosia trifida* L., *Ambrosia psyllostachya* DC., но лишь один из них – амброзия трехраздельная – широко распространен по большей части территории области. Целью настоящей работы было изучение современного состояния и виталитетной структуры природных популяций *Ambrosia trifida*.

Для изучения структуры и плотности ценопопуляций (ЦП) в каждой из них на трансекте закладывалось 25 пробных площадок размером 1 м<sup>2</sup>. Порядок заложения (линейный или шахматный) и шаг трансекты (5 или 10 м) определялся размером и площадью, занимаемой конкретной ЦП.

Оценка виталитетной структуры 20 ЦП проводилась по методике Ю.А. Злобина [1] для особей в средневозрастном генеративном состоянии. Для оценки виталитета ЦП из ряда 18 морфометрических параметров,

Т а б л и ц а

Распределение особей *Ambrosia trifida* по классам виталитета

| Ценопопуляция      | Относительная частота размерных классов |      |      | Качество популяции, Q | Виталитетный тип ЦП |
|--------------------|---|------|------|-----------------------|---------------------|
|                    | c                                       | b    | a    |                       |                     |
| Подгорный          | 0                                       | 0    | 1    | 0.5                   | процветающая        |
| Новониколаевка     | 0                                       | 0    | 1    | 0.5                   | процветающая        |
| Биктимирово 2      | 0                                       | 0.04 | 0.96 | 0.5                   | процветающая        |
| Новобиккулово      | 0                                       | 0.08 | 0.92 | 0.5                   | процветающая        |
| Имангулово второе  | 0                                       | 0.08 | 0.92 | 0.5                   | процветающая        |
| Октябрьское 2      | 0                                       | 0.80 | 0.20 | 0.5                   | процветающая        |
| Татарский Саракташ | 0                                       | 0.84 | 0.16 | 0.5                   | процветающая        |
| Екатеринославка 2  | 0.04                                    | 0.20 | 0.76 | 0.48                  | процветающая        |
| Родничный Дол      | 0.04                                    | 0.28 | 0.68 | 0.48                  | процветающая        |
| Благовещенка       | 0.36                                    | 0.64 | 0    | 0.32                  | равновесная         |
| Каменка            | 0.40                                    | 0.08 | 0.52 | 0.30                  | депрессивная        |
| Покровка           | 0.76                                    | 0.25 | 0.04 | 0.15                  | депрессивная        |
| Тимашево           | 0.76                                    | 0.16 | 0.08 | 0.12                  | депрессивная        |
| Караванный 1       | 0.80                                    | 0.16 | 0.04 | 0.10                  | депрессивная        |
| Донское 2          | 0.84                                    | 0.16 | 0    | 0.08                  | депрессивная        |
| Каменноозерное     | 0.88                                    | 0.08 | 0.04 | 0.06                  | депрессивная        |
| Александровка      | 0.96                                    | 0    | 0.04 | 0.02                  | депрессивная        |
| Татарская Каргала  | 1                                       | 0    | 0    | 0                     | депрессивная        |
| Сакмара 1          | 1                                       | 0    | 0    | 0                     | депрессивная        |
| Саракташ 2         | 1                                       | 0    | 0    | 0                     | депрессивная        |

определяемых для 25 особей амброзии трехраздельной на каждой пробной площади, с применением корреляционного и факторного анализа был выделен детерминирующий комплекс признаков. Качество ЦП оценивали с помощью интегрального показателя качества  $Q=1/2(a+b)$  и определяли виталитетные типы: процветающие, равновесные, депрессивные.

Статический анализ провели в MS Excel 2010 при помощи пакета статистических программ Statistica 6.0 с использованием стандартных показателей [8].

Основные параметры, характеризующие виталитетные типы ЦП *Ambrosia trifida*, приведены в табл. В качестве детерминирующего комплекса признаков по результатам проведенного факторного и корреляционного анализа были использованы

показатели высоты растения и длина листовая пластинки.

В ЦП Подгорный, Новониколаевка, Биктимирово 2, Новобиккулово, Имангулово второе, Октябрьское, Татарский Саракташ, Екатеринославка 2, Родничный Дол отмечено преобладание особей высшего класса, и они отнесены к категории процветающих. Индекс качества ЦП здесь максимален и составляет 0.48–0.50. Эти ЦП приурочены к ненарушенным или слабо нарушенным местообитаниям (поймы рек, овраги, затененные местообитания, территории вокруг ферм). В этих ЦП сохраняется достаточно высокий уровень жизненности отдельных особей при условии достаточного увлажнения и наличии умеренных нарушений. ЦП Благовещенка близка к равновесной. Индекс качества (Q) равен 0.32.

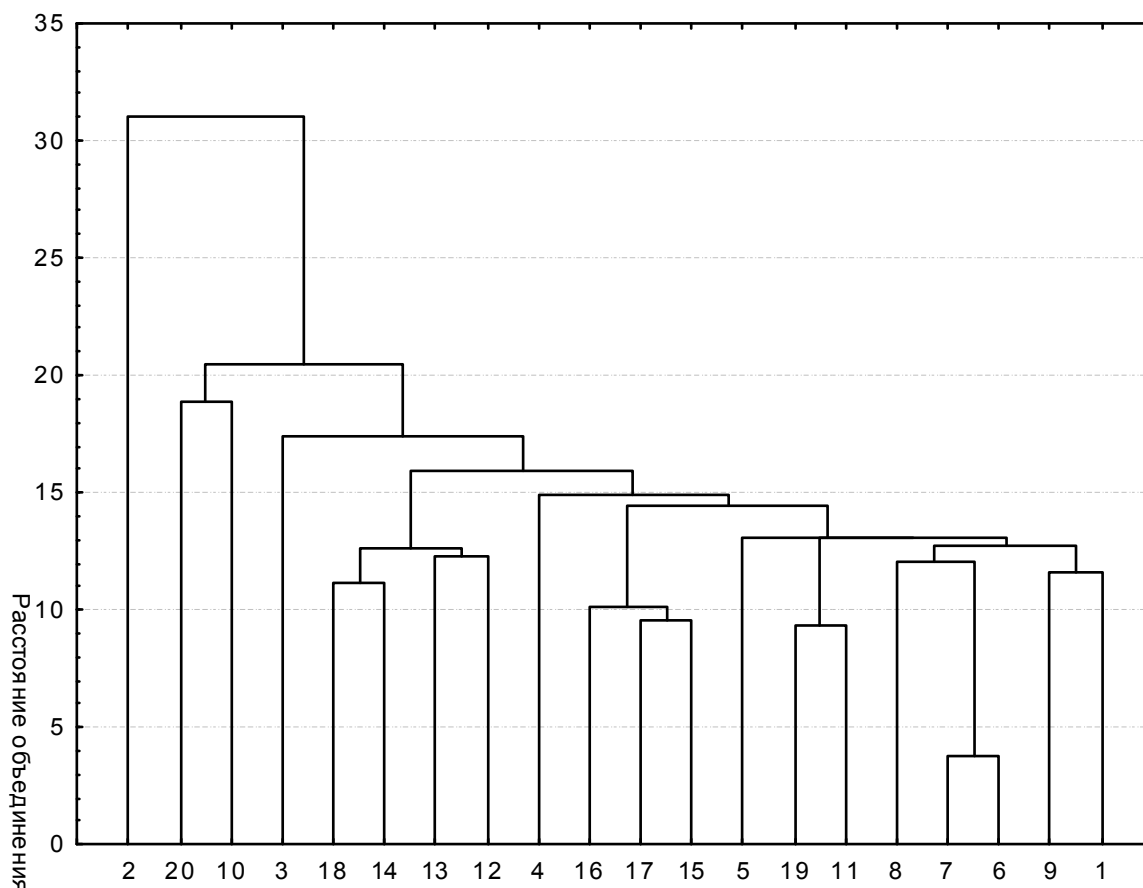


Рис. ЦП *Ambrosia trifida*, объединенные в кластеры: 1 – ЦП Александровка; 2 – ЦП Биктимирово 2; 3 – ЦП Татарский Саракташ; 4 – ЦП Октябрьское 2; 5 – ЦП Сакмара 1; 6 – ЦП Караванный 1; 7 – ЦП Каменноозерное; 8 – ЦП Каменка; 9 – ЦП Покровка; 10 – ЦП Донское 2; 11 – ЦП Татарская Кургала; 12 – ЦП Родничный Дол; 13 – ЦП Подгорный; 14 – ЦП Новобиккулово; 15 – ЦП Имангулово второе; 16 – ЦП Благовещенка; 17 – ЦП Екатеринославка 2; 18 – ЦП Новониколаевка; 19 – ЦП Тимашево; 20 – ЦП Саракташ 2

Остальные ЦП являются депрессивным, качество популяции составляет от 0 до 0.30. В большей степени это нарушенные и малочисленные ЦП, расположенные вдоль проезжей части, позади огородов, в местах выпаса скота, на уплотненных почвах. Из них самыми слабыми можно считать ЦП Татарская Каргала, ЦП Сакмара 1 и ЦП Саракташ 2. В них полностью отсутствуют особи высшего и среднего классов, составляющих основную группу растений популяции по фитомассе и обилию, а также группу размножения. В этих ЦП присутствуют только особи низшего класса, выполняющие резервную функцию и контролирующие размер экологической ниши.

В результате проведенного кластерного анализа (древовидная кластеризация, метод одиночной связи) по средневыборочным значениям морфометрических параметров растений была получена дендрограмма различных выборок (рис.). Для дифференциации популяций по морфометрическим параметрам использован метод одиночной связи, при котором объединяются два наиболее близких объекта, т.е. имеющие максимальную меру сходства, далее к ним присоединяется объект с максимальным сходством с одним из объектов кластера. По результатам кластеризации исследуемые популяции на расстоянии 31.3 образуют два кластера. Первый кластер представлен ЦП Биктимирово, особи вида в данной популяции самые крупные по сравнению с другими популяциями и имеют максимальные значения по большинству морфометрических параметров. Второй кластер на расстоянии 20.7 образует две ветви. Первая, на расстоянии 18.6, включает ЦП Донское 2 и ЦП Саракташ 2. Данные популяции малочисленны и имеют минимальные значения по большинству морфометрических показателей. Вторая ветвь на расстоянии 17.1 расходуется на две группы. В первую группу входит ЦП Татарский Саракташ, с довольно высокими значениями особей, вторая группа объединяет все остальные ЦП, со сходными морфометрическими параметрами.

Таким образом, результаты исследований позволяют утверждать, что наиболее благоприятные условия для произрастания амброзии трехраздельной формируются в нарушенных или слабо нарушенных местообитаниях Южного Предуралья, расположенных в условиях достаточного увлажнения (поймы рек), затененных местообитаниях, на почвах, богатых азотом (территории вокруг ферм). Ухудшение жизненного состояния *Ambrosia trifida* наблюдается в антропогенно нарушенных и малочисленных ЦП, отнесенных к разряду депрессивных, и расположенных вдоль проезжей части, позади огородов, в месте выпаса скота, на уплотненных почвах.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-34-50274 мол\_нр.*

#### Литература

1. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценоотических популяций растений. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1989. 146 с.
2. Нурмиева С.В. *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen на Южном Урале: распространение, эколого-биологическая и популяционная характеристика: автореф. дис... канд. биол. наук. Уфа, 2009. 17 с.
3. Никитин В.В. Сорные растения флоры СССР. Л.: Наука, 1983. 454 с.
4. Алексеев Ю.Е., Галеева А.Х., Губанов И.А. и др. Определитель высших растений Башкирской АССР. Т. 2. Сем. Brassicaceae – Asteraceae. М.: Наука, 1989. 375 с.
5. Попов А.В. Сорные растения Оренбургской области. Оренбург: Изд-во ОГПУ, 1997. 237 с.
6. Рябинина З.Н. Конспект флоры Оренбургской области. Екатеринбург: УрО РАН «Наука», 1998. 164 с.
7. Дгебуадзе Ю.Ю., 2014. Чужеродные виды в Голарктике: некоторые результаты и перспективы исследований // Российский журнал биологических инвазий. 2014. № 1. С. 2–8.
8. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. М. Изд.: ООО «Бином-Пресс», 2008. 512 с.

#### References

1. Zlobin Yu.A. Principles and methods in studying coenotic plant populations. Kazan, Kazanskiy universitet, 1989. 146 p.

2. Nurmiva S.V. *Cyclachaenaxanthiifolia* (Nutt.) Fresen in the South Urals: Distribution, environmental, biological and population characteristics. Ph.D. Thesis in Biology. Ufa, 2009. 17 p.
3. Nikitin V.V. Weed plants of the flora of the USSR. Leningrad, Nauka, 1983. 454 p.
4. Alekseev Yu.E., Galeeva A.Kh, Gubanov I.A. Identifier of higher plants of The Bashkir ASSR. Vol. 2. Family *Brassicaceae* – *Asteraceae*. Moscow, Nauka, 1989. 375 p.
5. Popov A.V. Weed plants of the Orenburg Region. Orenburg, OGPU, 1997. 237 p.
6. Ryabinina Z.N. Synopsis of the flora of the Orenburg Region. Ekaterinburg, UrO PAH Nauka, 1998. 164 p.
7. Dgebudze Yu.Yu. Alien species in the Holarctic: Some results and prospects for research. Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy, 2014, no. 1, pp. 2–8.
8. Khalafyan A.A. STATISTICA 6. Data statistical analysis. Moscow, OOO Binom-Press, 2008. 512 p.



## VITALITY STRUCTURE OF NATURAL POPULATIONS OF INVASIVE SPECIES *Ambrosia trifida* L. IN THE SOUTH CIS-URALS

© E.V. Pikalova<sup>1</sup>, L.M. Abramova<sup>2</sup>, A.N. Mustafina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Orenburg State Pedagogical University,  
Institute of Natural Science and Economics, RAS,  
19, ulitsa Sovetskaya, 460844, Orenburg, Russian Federation  
<sup>2</sup>Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

The paper demonstrates the research results on the state and vitality structure of 20 natural populations of invasive species *Ambrosia trifida* L. *Ambrosia trifida* L. is an invasive quarantine weed plant suppressing field crops, as well as causing serious harm to people's health as a source of severe allergies. This species is a priority target for studying and controlling its population. Previously, there was no special research on the *Ambrosia trifida* population in the Orenburg Region, despite the fact that this species is clearly very widespread throughout the region, especially in its western and central parts, and needs to be controlled. The investigation into the vitality structure along with biological and population characteristics helps to assess the *Ambrosia* advance into new habitats. Analysis of the vitality structure showed that 9 of coenotic populations can be considered prosperous. They grow under relatively favourable conditions occupying floodplains, ravines, shaded habitats and nitrogenous soils. In this case, two coenotic populations include only higher-rank types, five populations include higher and middle-rank types, and the rest two populations include all three ranks. One of the populations is close to equilibrium and grows on a dunged substrate. Ten populations are suppressed, since they grow along the roadways, at the back of vegetable gardens and in places of livestock grazing on compacted soils. In five coenotic populations, the plants are of higher, middle and lower ranks; in two populations there are two ranks of *Ambrosia* plants; and three populations include only lower-class individuals. It should be noted that *Ambrosia trifida* prefer to grow in undisturbed or slightly disturbed habitats, where the process of invasion occurs successfully and continues to gain momentum. Cluster analysis allowed us to classify the coenotic populations in four groups. These are one population with the maximum values for the majority of morphometric parameters, two populations with the minimum values for the majority of morphometric parameters, and one population with rather high parameters of their individual plants. The rest 16 populations were combined into one group with similar morphometric parameters.

Key words: *Ambrosia trifida* L., invasive species, coenotic populations, vitality structure.

**ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ  
НА ДЕГРАДАЦИЮ НЕФТИ В ПЕСЧАНОМ ГРУНТЕ**

© Т.Ю. Коршунова, С.П. Четвериков, Э.Г. Валиуллин, О.Н. Логинов

В модельном лабораторном эксперименте изучена возможность применения штаммов психротолерантных микроорганизмов рр. *Pseudomonas* и *Rhodococcus* для очистки нефтезагрязненного песка. Лучшие результаты, незначительно превышающие остальные, были достигнуты с использованием штамма *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1. Благодаря его интродукции, содержание нефти снизилось до 0.8% при исходном 5%-м уровне загрязнения (при применении остальных бактерий этот показатель составил 1–1.2%) и до 4.5% при 15%-м загрязнении (в других вариантах опыта инокуляция привела к уменьшению концентрации нефти до 5.6–6%). В целом при слабой контаминации нефтью (5%) степень биодеструкции поллютанта достигла 76–84%, а при более значительной (15%) – 60–70%. Дробное внесение биопрепаратов позволило стабилизировать численность гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий в очищаемом субстрате на достаточно высоком уровне –  $10^7$  КОЕ/г, который не зависел от вносимой микробной культуры и концентрации нефти. В образцах песка только с аборигенной микрофлорой убыль загрязняющих веществ была крайне незначительной – 0.1% (в обоих случаях), а биодegradация нефтепродуктов составила всего 2 и 0.7% (при 5 и 15%-м содержании поллютанта соответственно), количество гетеротрофных микроорганизмов увеличилось только на 1 порядок (с  $10^2$  до  $10^3$  КОЕ/г), а численность углеводородокисляющей микробиоты под влиянием контаминации нефтью вначале возросла на 1–2 порядка, но потом опустилась на прежний уровень – менее  $10^3$  КОЕ/г. Полученные результаты позволяют рекомендовать изученные штаммы для дальнейшей проверки их эффективности уже в полевых условиях нефтезагрязненных песчаных грунтов.

Ключевые слова: нефтезагрязненный песок, микроорганизмы рр. *Pseudomonas* и *Rhodococcus*, биодеструкция, гетеротрофные, углеводородокисляющие микроорганизмы.

Мангистауская область расположена на юго-западе Республики Казахстан и является крупным промышленным и нефтедобывающим регионом. За счет роста объемов добычи углеводородного сырья, а также из-за несоблюдения технических регламентов его извлечения, переработки, хранения и транспортировки происходит комплексное загрязнение окружающей среды. Особенно тяжелую нагрузку испытывает почва, в которой возникают глубокие изменения морфологических,

физико-химических, микробиологических свойств. Почвы Мангистау относятся к пустынной ландшафтной зоне и характеризуются очень ограниченным содержанием гумуса, маломощностью и бесструктурностью перегнойного горизонта, а также высокой засоленностью. Среди них преобладают пески, общая площадь которых составляет приблизительно 1.1 млн га [1]. Они легко поддаются эрозии, хорошо проводят воздух и влагу, но не способны ее удержать, быстро прогрева-

КОРШУНОВА Татьяна Юрьевна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН,  
e-mail: korshunovaty@mail.ru

ЧЕТВЕРИКОВ Сергей Павлович – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: che-kov@mail.ru

ВАЛИУЛЛИН Эльдар Гафурович, Уфимский институт биологии РАН, e-mail: j.eddie2012@yandex.ru

ЛОГИНОВ Олег Николаевич – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: biolab316@yandex.ru

ются, но также стремительно остывают. Климат Западно-Казахстанского нефтеносного региона резко-континентальный, крайне засушливый, с сильными ветрами, частыми пыльными бурями. Все это приводит к тому, что экосистемы данной местности отличаются высокой уязвимостью и низким потенциалом самоочищения. В таких условиях наиболее перспективным, экологически безопасным и экономически целесообразным методом очистки нефтезагрязненных песчаных грунтов является биотехнологический. Применение высокоэффективных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов, выделенных из загрязненных природных объектов, позволяет сократить сроки восстановления, способствует сохранению биоразнообразия и обеспечению устойчивости очищаемых биоценозов.

В природных нефтезагрязненных экосистемах широко распространены микроорганизмы, относящиеся к родам *Pseudomonas* и *Rhodococcus*. Они являются активными нефтедеструкторами благодаря наличию ферментных систем, обладающих широкой субстратной специфичностью и катализирующих реакции биотрансформации практически всех классов органических соединений в большом диапазоне концентраций. Кроме того, представители этих родов продуцируют биосурфактанты, способствующие диспергированию и солюбилизации гидрофобных углеводородов, что делает их доступными для микроорганизмов. Еще одним преимуществом бактерий рр. *Pseudomonas* и *Rhodococcus* является их высокая технологичность, т.е. способность активно размножаться и сохранять значительную численность на минимальных питательных средах, расти в обширном диапазоне температур и pH, проявлять активность в экстремальных условиях внешней среды. В настоящее время разработано большое количество биопрепаратов-нефтедеструкторов на основе этих бактерий [2–7]. Но в связи с разнообразием почвенно-климатических факторов, физико-химических свойств поллютантов, уровня и срока давности загрязнения проблема поиска адаптированных к конкретным условиям штаммов продолжает оставаться акту-

альной. Для таких регионов, как Западный Казахстан, с его аридным климатом и холодным периодом с ноября по март, использование для очистки от нефтепродуктов психротолерантных микроорганизмов, хорошо приспособленных к сезонным и суточным температурным колебаниям, способных проявлять достаточную активность при пониженных температурах и обеспечивающих значительную степень утилизации углеводородов, является оптимальным.

Важным этапом при разработке мероприятий по биорекультивации грунтов является лабораторный эксперимент, в ходе которого невозможно точно воспроизвести происходящие в естественной среде изменения почвы под воздействием нефти и нефтепродуктов. Задачей модельного опыта является поиск основных тенденций этих процессов, каковые в дальнейшем будут учитываться при создании полномасштабной технологии очистки почв от углеводородного загрязнения.

Целью работы было изучение в ходе модельного лабораторного эксперимента эффективности деструкции нефти в песке под влиянием углеводородокисляющих микроорганизмов рр. *Pseudomonas* и *Rhodococcus*.

**Материалы и методы.** Объектом исследований являлся песок, отобранный в окрестностях г. Жанаозен (Мангистауская обл.), в который вносили сырую нефть месторождения Узень (плотность 844–874 кг/м<sup>3</sup>, содержание серы 0.18%, парафинов 19.3%, смол 20%).

В работе использовали штаммы микроорганизмов *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1, *Pseudomonas* sp. ИБ-1.2, *Rhodococcus* sp. 3.3 и *Rhodococcus* sp. 4.1, выделенные ранее из нефтезагрязненной почвы и способные к деструкции углеводородов различных классов при пониженной положительной температуре [8].

В 30 пластмассовых емкостей, объемом 1 л каждая (по три повторности на каждый вариант опыта), помещали по 500 г песка, вносили в него нефть в концентрации 5 или 15% (50 и 150 г/кг) и 100 мл суспензии какого-либо одного микроорганизма с титром  $2.2 \cdot 10^6$  КОЕ/мл колониеобразующих единиц в 1 мл. Интродукцию бактерий осуществляли шестикратно, 1 раз

в месяц, после чего модельную смесь тщательно перемешивали. Культивирование проводили при 4–8°C в период с 31.01.14 по 18.07.2014. Контролем служил песок, загрязненный нефтью, но не обработанный штаммами-деструкторами.

Для оценки эффективности применения биопрепаратов контролировали степень разложения углеводов в соответствии с ПНД Ф 16.1.41–04 [9].

Численность основных физиологических групп микроорганизмов, участвующих в биотрансформации нефтепродуктов, определяли методом предельных разведений с посевом

суспензии на твердые элективные питательные среды. Для гетеротрофных микроорганизмов – на питательный агар, для углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ) – на среду Раймонда с дизельным топливом [10].

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1 и 2 показано, как менялось в ходе опыта содержание остаточных углеводов в рекультивируемом песке в зависимости от концентрации нефти. Все используемые микроорганизмы разлагали загрязнение с приблизительно одинаковой скоростью, которая была наиболее высокой в первый месяц экспери-

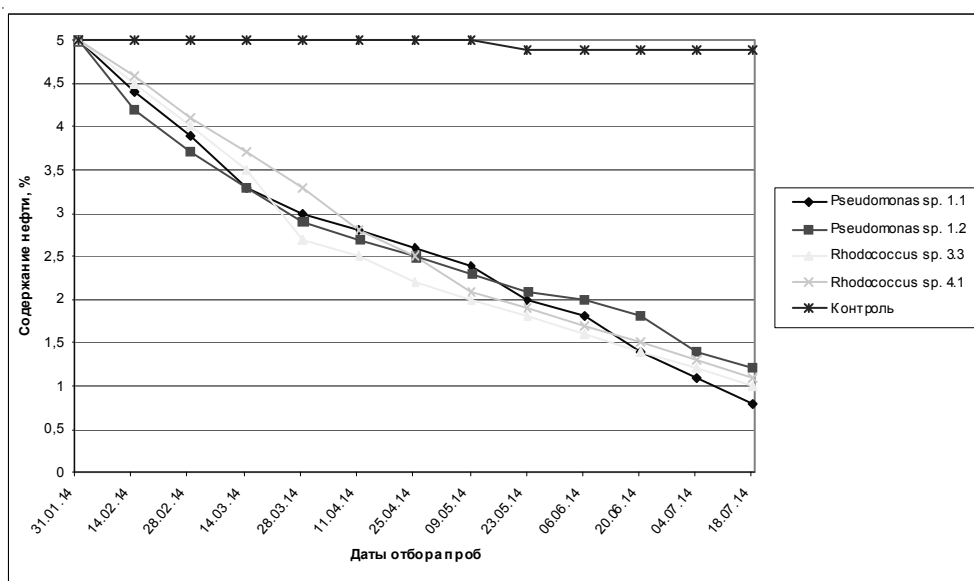


Рис. 1. Динамика содержания нефти в песке при 5%-м уровне загрязнения

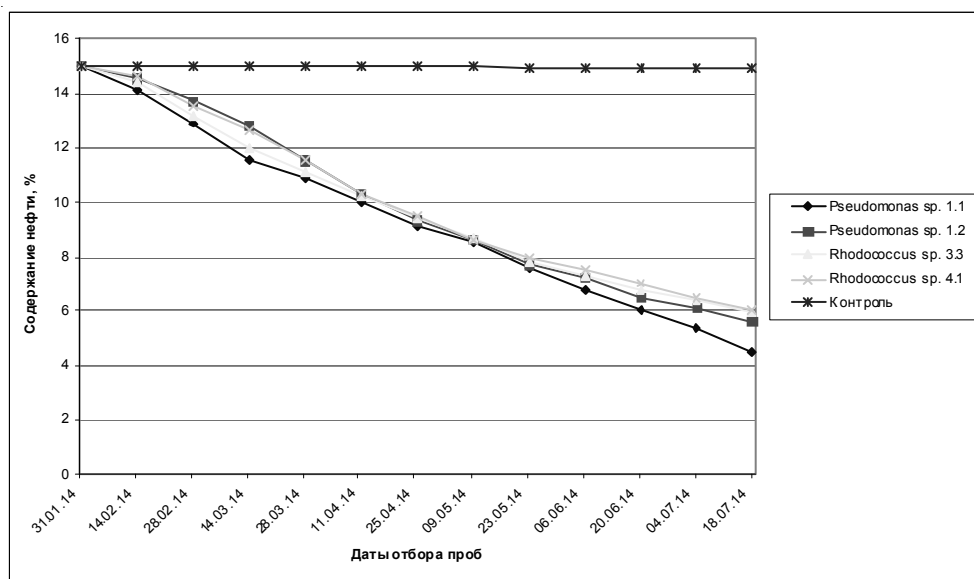


Рис. 2. Динамика содержания нефти в песке при 15%-м уровне загрязнения

мента. К концу испытания лучшие результаты, незначительно превышающие остальные, были достигнуты с помощью штамма *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1. Благодаря его внесению, удалось снизить содержание нефти до 0.8% при исходном 5%-м уровне загрязнения (при применении остальных бактерий этот показатель составил 1–1.2%) и до 4.5% при 15%-м загрязнении (в других вариантах опыта инокуляция привела к уменьшению концентрации нефти до 5.6–6%). В целом, при слабой контаминации нефтью (5%), степень биодеструкции поллютанта достигла 76–84%, а при более значительной (15%) – 60–70%. В то же время в образцах только с аборигенной микрофлорой убыль загрязняющих веществ была крайне незначительной – 0.1% (в обоих случаях), а биодegradация нефтепродуктов составила всего 2 и 0.7% (при 5 и 15%-м содержании поллютанта соответственно).

Используемый песок характеризовался исходно низкой микробной активностью: титр гетеротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов составлял менее  $10^3$  КОЕ/г. Анализ изменения микробиологических параметров показал, что под влиянием дробной интродукции биопрепаратов произошло резкое увеличение численности бактерий, участвующих в трансформации нефти. Так, независимо от степени загрязнения, уже через две недели после внесения штаммов-деструкторов количество гетеротрофов возросло на 4 порядка и составило  $10^6$  КОЕ/г (табл. 1). Еще через месяц, в марте, этот показатель достиг  $10^7$  КОЕ/г и держался на уровне  $10^7$ – $10^8$  КОЕ/г до начала июля. Все используемые штаммы показали схожие, стабильно высокие результаты. С их помощью к концу эксперимента, несмотря на разницу в концентрации нефти, удалось довести титр гетеротрофных микроорганизмов до  $10^7$  КОЕ/г.

Аналогичная картина наблюдалась и при подсчете численности углеводородокисляющих бактерий, на которую концентрация загрязнения также не оказала влияния. Внесение бактерий-нефтедеструкторов позволило увеличить количество УОМ уже к середине февраля на 4 порядка (табл. 2). С конца марта и

до завершения эксперимента титр этой группы микроорганизмов неизменно держался на отметке  $10^7$  КОЕ/г.

В то же время в образцах песка, не инокулированных микробными культурами, количество гетеротрофных микроорганизмов удалось поднять до уровня  $10^3$  КОЕ/г только к маю (при загрязнении в 5%) и июню (при загрязнении в 15%). Что касается численности углеводородокисляющей микробиоты, то контаминация нефтью оказала на нее только временное положительное влияние. В контрольных пробах, в которые вносили 5% поллютанта, титр этой группы микроорганизмов вначале вырос до  $10^4$  КОЕ/г, потом снизился до  $10^3$  КОЕ/г, а спустя еще два месяца вернулся к исходному значению – менее  $10^3$  КОЕ/г. При повышенном содержании нефти количество деструкторов углеводородов увеличилось на один порядок (до  $10^3$  КОЕ/г) в начале испытания, а затем снова стало меньше  $10^3$  КОЕ/г. Такая кратковременность стимулирующего эффекта, вероятно, связана с накоплением промежуточных продуктов обмена, оказывающих токсическое действие на аборигенные УОМ.

Таким образом, в ходе модельного лабораторного эксперимента установлено, что обработка суспензией психротолерантных углеводородокисляющих микроорганизмов, относящихся к рр. *Pseudomonas* и *Rhodococcus*, позволяет снизить содержание нефти в песке и способствует увеличению количества микроорганизмов, участвующих в ее биотрансформации. При слабом загрязнении нефтью (5%) степень биодеструкции поллютанта достигала 76–84%, а при более значительном (15%) – 60–70%.

Дробное внесение биопрепаратов позволило стабилизировать численность гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий в очищаемом песке на достаточно высоком уровне –  $10^7$  КОЕ/г. Этот показатель не зависел от используемой микробной культуры и концентрации нефти в субстрате. Полученные результаты позволяют рекомендовать изученные штаммы для дальнейшей проверки их эффективности уже в полевых условиях нефтезагрязненных песчаных грунтов.



Т а б л и ц а 1

Численность гетеротрофных микроорганизмов в нефтезагрязненном песке (КОЕ/г)

| Шагм                             | Даты отбора проб         |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                  | 31.01.14                 | 14.02.14                      | 28.02.14                      | 14.03.14                      | 28.03.14                      | 11.04.14                      | 25.04.14                      | 09.05.14                      | 23.05.14                      | 06.06.14                      | 20.06.14                      | 04.07.14                      | 18.07.14                      |
|                                  | 5% содержание нефти      |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |
| <i>Pseudomonas</i> sp.<br>ИБ-1.1 | Менее<br>10 <sup>3</sup> | (1.8±0.1)<br>×10 <sup>6</sup> | (3.2±0.3)<br>×10 <sup>6</sup> | (4.5±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.6±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.6±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (5.5±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (1.8±0.2)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.5±0.2)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.9±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.2±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (3.6±0.4)<br>×10 <sup>7</sup> | (4.4±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> |
| <i>Pseudomonas</i> sp.<br>ИБ-1.2 | Менее<br>10 <sup>3</sup> | (1.5±0.1)<br>×10 <sup>6</sup> | (1.8±0.2)<br>×10 <sup>6</sup> | (2.4±0.4)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.9±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.5±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.8±0.1)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.4±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.3±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (4.7±0.2)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.3±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.5±0.1)<br>×10 <sup>8</sup> | (3.1±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> |
| <i>Rhodococcus</i> sp.<br>3.3    | Менее<br>10 <sup>3</sup> | (2.8±0.3)<br>×10 <sup>6</sup> | (5±0.4)<br>×10 <sup>6</sup>   | (6.2±0.3)<br>×10 <sup>6</sup> | (1.8±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.9±0.5)<br>×10 <sup>7</sup> | (4.9±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (1.8±0.2)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.9±0.4)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.1±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.2±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.5±0.2)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.8±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> |
| <i>Rhodococcus</i> sp.<br>4.1    | Менее<br>10 <sup>3</sup> | (1.2±0.3)<br>×10 <sup>6</sup> | (1.4±0.2)<br>×10 <sup>6</sup> | (1.1±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> | (1.3±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> | (1.9±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.7±0.2)<br>×10 <sup>8</sup> | (1.2±0.2)<br>×10 <sup>8</sup> | (1.4±0.2)<br>×10 <sup>8</sup> | (1.8±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (1.9±0.2)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.2±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.5±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> |
| Контроль                         | Менее<br>10 <sup>3</sup> | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | (5.2±0.1)<br>×10 <sup>3</sup> | (4.3±0.2)<br>×10 <sup>3</sup> | (6.9±0.3)<br>×10 <sup>3</sup> | (8.1±0.3)<br>×10 <sup>3</sup> | (6.2±0.3)<br>×10 <sup>3</sup> | (7.4±0.4)<br>×10 <sup>3</sup> |
|                                  | 15% содержание нефти     |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |
| <i>Pseudomonas</i> sp.<br>ИБ-1.1 | Менее<br>10 <sup>3</sup> | (1.2±0.1)<br>×10 <sup>6</sup> | (1.9±0.3)<br>×10 <sup>6</sup> | (2.3±0.2)<br>×10 <sup>6</sup> | (3.1±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.5±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (4.2±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (5±0.3)<br>×10 <sup>7</sup>   | (2.5±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.8±0.5)<br>×10 <sup>8</sup> | (5.2±0.4)<br>×10 <sup>7</sup> | (5.5±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.4±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> |
| <i>Pseudomonas</i> sp.<br>ИБ-1.2 | Менее<br>10 <sup>3</sup> | (2.5±0.3)<br>×10 <sup>6</sup> | (4±0.2)<br>×10 <sup>6</sup>   | (3±0.1)<br>×10 <sup>7</sup>   | (2.5±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (4.8±0.4)<br>×10 <sup>8</sup> | (5.3±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.5±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.7±0.1)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.8±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.9±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.6±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.5±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> |
| <i>Rhodococcus</i> sp.<br>3.3    | Менее<br>10 <sup>3</sup> | (4.2±0.3)<br>×10 <sup>6</sup> | (5±0.2)<br>×10 <sup>6</sup>   | (8±0.4)<br>×10 <sup>6</sup>   | (1.2±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> | (1.8±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.5±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.8±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (3.3±0.4)<br>×10 <sup>8</sup> | (4.2±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (3±0.2)<br>×10 <sup>7</sup>   | (3.2±0.3)<br>×10 <sup>8</sup> | (4.1±0.5)<br>×10 <sup>7</sup> |
| <i>Rhodococcus</i> sp.<br>4.1    | Менее<br>10 <sup>3</sup> | (2.6±0.2)<br>×10 <sup>6</sup> | (5±0.3)<br>×10 <sup>6</sup>   | (2.6±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.4±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.3±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.6±0.4)<br>×10 <sup>8</sup> | (3.4±0.4)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.5±0.2)<br>×10 <sup>7</sup> | (2.7±0.1)<br>×10 <sup>8</sup> | (2.9±0.1)<br>×10 <sup>8</sup> | (3.4±0.3)<br>×10 <sup>7</sup> | (3.7±0.1)<br>×10 <sup>7</sup> |
| Контроль                         | Менее<br>10 <sup>3</sup> | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | Менее<br>10 <sup>3</sup>      | (4.4±0.2)<br>×10 <sup>3</sup> | (5.9±0.1)<br>×10 <sup>3</sup> | (7.2±0.3)<br>×10 <sup>3</sup> | (6.8±0.4)<br>×10 <sup>3</sup> |

Таблица 2

Численность углеводородокисляющих микроорганизмов в нефтезагрязненном песке (КОЕ/г)

| Штамм                            | Даты отбора проб     |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                  | 31.01.14             | 14.02.14                    | 28.02.14                    | 14.03.14                    | 28.03.14                    | 11.04.14                    | 25.04.14                    | 09.05.14                    | 23.05.14                    | 06.06.14                    | 20.06.14                    | 04.07.14                    | 18.07.14                    |
|                                  | 5% содержание нефти  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| <i>Pseudomonas</i> sp.<br>ИБ-1.1 | Менее<br>$10^3$      | $(2.1 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(2.5 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(2.9 \pm 0.2) \times 10^6$ | $(3.4 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(1.2 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(1.5 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.8 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(3.5 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(4.4 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(4.8 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(5.2 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(5.1 \pm 0.3) \times 10^7$ |
| <i>Pseudomonas</i> sp.<br>ИБ-1.2 | Менее<br>$10^3$      | $(2.4 \pm 0.2) \times 10^6$ | $(2.1 \pm 0.3) \times 10^6$ | $(2.5 \pm 0.3) \times 10^6$ | $(1.2 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(1.4 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(2.3 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.5 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(2.7 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(3.4 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(3.7 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(3.4 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(2.8 \pm 0.3) \times 10^7$ |
| <i>Rhodococcus</i> sp.<br>3.3    | Менее<br>$10^3$      | $(1.4 \pm 0.2) \times 10^6$ | $(1.5 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(2.1 \pm 0.2) \times 10^6$ | $(2.4 \pm 0.3) \times 10^6$ | $(2.7 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(3.3 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.6 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(1.8 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.3 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(2.9 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(3.3 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(3.1 \pm 0.1) \times 10^7$ |
| <i>Rhodococcus</i> sp.<br>4.1    | Менее<br>$10^3$      | $(1.6 \pm 0.2) \times 10^6$ | $(1.8 \pm 0.3) \times 10^6$ | $(2.6 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(2.4 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.8 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(1.8 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.4 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.1 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(3.1 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(3.4 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(2.9 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(2.7 \pm 0.2) \times 10^7$ |
| Контроль                         | Менее<br>$10^3$      | $(3.8 \pm 0.3) \times 10^4$ | $(5.2 \pm 0.3) \times 10^4$ | $(2.7 \pm 0.1) \times 10^4$ | $(4.1 \pm 0.3) \times 10^3$ | $(5.9 \pm 0.2) \times 10^3$ | $(3.4 \pm 0.2) \times 10^3$ | $(2.7 \pm 0.4) \times 10^3$ | $(0.9 \pm 0.1) \times 10^3$ | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             |
|                                  | 15% содержание нефти |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| <i>Pseudomonas</i> sp.<br>ИБ-1.1 | Менее<br>$10^3$      | $(1.7 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(2.3 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(2.7 \pm 0.2) \times 10^6$ | $(2.1 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(3.5 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(2.5 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.9 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.3 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.6 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(4.1 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(4.2 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.7 \pm 0.4) \times 10^7$ |
| <i>Pseudomonas</i> sp.<br>ИБ-1.2 | Менее<br>$10^3$      | $(1.5 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(1.7 \pm 0.2) \times 10^6$ | $(1.9 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(2.6 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(2.2 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(1.5 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(1.9 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.2 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(2.5 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(3.2 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.6 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(3.4 \pm 0.1) \times 10^7$ |
| <i>Rhodococcus</i> sp.<br>3.3    | Менее<br>$10^3$      | $(1.2 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(1.7 \pm 0.5) \times 10^6$ | $(1.5 \pm 0.3) \times 10^6$ | $(2.3 \pm 0.2) \times 10^6$ | $(2.8 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(2.1 \pm 0.3) \times 10^7$ | $(2.7 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.9 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(3.3 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(3.7 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(3.9 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.3 \pm 0.2) \times 10^7$ |
| <i>Rhodococcus</i> sp.<br>4.1    | Менее<br>$10^3$      | $(1.4 \pm 0.1) \times 10^6$ | $(1.6 \pm 0.2) \times 10^6$ | $(1.9 \pm 0.4) \times 10^6$ | $(2.6 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(3.2 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.4 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(2.5 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.9 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.2 \pm 0.4) \times 10^7$ | $(3.5 \pm 0.1) \times 10^7$ | $(3.1 \pm 0.2) \times 10^7$ | $(2.9 \pm 0.3) \times 10^7$ |
| Контроль                         | Менее<br>$10^3$      | $(6.7 \pm 0.4) \times 10^3$ | $(8.3 \pm 0.4) \times 10^3$ | $(3.2 \pm 0.4) \times 10^3$ | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             | Менее<br>$10^3$             |

ЛИТЕРАТУРА

References

1. Фаизов К.Ш. Почвы пустынной зоны Казахстана. Алма-ата: Наука, 1983. 239 с.
2. Патент РФ. № 2191752. 2002 / Холоденко В.П. и др.; заявл. 27.09.99; опубл. 27.04.2002. 5 с.
3. Van der Geize R., Dijkhuizen L. Harnessing the catabolic diversity of *Rhodococci* for environmental and biotechnological applications // Current Opinion in Microbiology. 2004. V. 7, № 3. P. 255–261.
4. Murygina V., Markarova M., Kalyuzhnyi S. Application preparation «Rhoder» for remediation of oil polluted polar marshy wetlands in Komi Republic // Environment International. 2005. V. 31. P. 163–166.
5. Патент РФ. № 2312891 / Филонов А.Е. и др.; заявл. 10.03.2006; опубл. 20.12.2007. 5 с.
6. Патент РФ. № 2393215 / Стежкин К.К. и др.; заявл. 29.12.2005; опубл. 27.06.2010. 5 с.
7. Рогозина Е.А., Тимергазина И.Ф., Моргунов П.А. Очистка нефтезагрязненных почв бактериями рода *Pseudomonas* – основой биопрепаратов НАФТОКС 12-Р и НАФТОКС 48-У // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9, № 2. URL: [http://www.ngtp.ru/rub/7/19\\_2014.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/7/19_2014.pdf) (дата обращения 10.06.2015).
8. Коршунова Т.Ю., Сабиров А.А., Четвериков С.П., Логинов О.Н. Микроорганизмы, разлагающие нефтяные углеводороды при пониженной температуре // Известия Уфимского научного центра РАН. 2012. № 3. С. 76–82.
9. ПНД Ф 16.1.41–04 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом». 2004. Портал нормативных документов. URL: <http://www.OpenGost.ru> (дата обращения: 03.10.2013).
10. Raymond R.L. Microbial oxidation of n-paraffinic hydrocarbons // Develop. Industr. Microbiol. 1961. V. 2., № 1. P. 23–32.

1. Faizov K.Sh. Soils of the desert zone of Kazakhstan. Alma-Ata, Nauka, 1983. 239 p.
2. Patent RF, no. 2191752. 2002.
3. Van der Geize R., Dijkhuizen L. Harnessing the catabolic diversity of *Rhodococci* for environmental and biotechnological applications. Current Opinion in Microbiology. 2004, vol. 7, no. 3, pp. 255–261.
4. Murygina V., Markarova M., Kalyuzhnyi S. Application of preparation «Rhoder» for remediation of oil polluted polar marshy wetlands in Komi Republic. Environment International, 2005, vol. 31, pp. 163–166.
5. Patent RF, no. 2312891. 2007.
6. Patent RF, no. 2393215. 2010.
7. Rogozina E.A., Timergazina I.F., Morgunov P.A. Cleaning oil-contaminated soil by *Pseudomonas* bacteria – basis of biological products NAFTOKS 12-R and NAFTOKS 48-U. Neftegazovaya tekhnologiya. Teoriya i praktika, 2014, vol. 9, no. 2. Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/7/19\\_2014.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/7/19_2014.pdf) (accessed June 10, 2015).
8. Korshunova T.Yu., Sabirov A.A., Chetverikov S.P., Loginov O.N. Microorganisms degrading petroleum hydrocarbons at low temperatures. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 2012, no. 3, pp. 76–82.
9. PND F 16.1.41–04 «Procedure for measuring the mass concentration of oil products in soil samples by the gravimetric method». 2004. Portal normativnykh dokumentov. Available at: <http://www.OpenGost.ru> (accessed October 3, 2013).
10. Raymond R.L. Microbial oxidation of n-paraffinic hydrocarbons. Developments in Industrial Microbiology, 1961, vol. 2, no. 1, pp. 23–32.

THE EFFECT OF HYDROCARBON-OXIDIZING MICROORGANISMS  
ON OIL DEGRADATION IN SANDY SOILS

© T.Yu. Korshunova, S.P. Chetverikov, E.G. Valiullin, O.N. Loginov

Ufa Institute of Biology, RAS,  
69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

Based on a model laboratory experiment, we studied the possibility of applying the psychrotolerant microbial strains of the genera *Pseudomonas* and *Rhodococcus* so as to remediate oil-contaminated sands. The best results, slightly above the others, were achieved with the strain *Pseudomonas* sp. IB-1.1. Thanks to its application, the oil content was reduced to 0.8% from the initial level of 5% (this indicator was 1–1.2% when applying other bacteria) and to 4.5% in case of 15% contamination (in other experimental tests the inoculation caused the reduction of oil concentration to 5.6–6%). In general, in case of low oil contamination (5%), the degree of contaminant destruction was between 76% and 84%, and at higher concentrations (15%) it was between 60% and 70%. Split application of biological products allowed stabilizing the number of heterotrophic and hydrocarbon-oxidizing microorganisms in the substrate at a rather high level of  $10^7$  cell/ml independent on microbial culture and oil concentration. In sand samples containing only the native microflora, the reduction of contaminants was insignificant (0.1% in both cases), and biodegradation of oil products ranged from 2% to 0.7% (at 5% and 15% initial concentrations, respectively). The number of heterotrophic microorganisms increased only by 1 order, and an increase in the number of hydrocarbon-oxidizing microorganisms was by 1 to 2 orders at first, but then it came down to its previous level. The obtained results allow us to recommend the strains in question for further checks of their efficiency already under field conditions.

Key words: genera *Pseudomonas* and *Rhodococcus*, oil-contaminated sandy soil, bio-destruction, heterotrophic microorganisms, hydrocarbon-oxidizing microorganisms.

УДК 581.16:582.675.1(470.57-25)

**ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ *Clematis integrifolia* L.  
ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ-ИНСТИТУТЕ  
УФИМСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН**

© Р.А. Билалова, Л.С. Никитина

Дана характеристика биологических особенностей *C. integrifolia* L. в природе и при интродукции в Ботанический сад г. Уфы. Естественный ареал произрастания *C. integrifolia* охватывает Центральную, Восточную и Западную Европу, Малую Азию, юго-восток Западной и юго-запад Восточной Сибири. Данный вид представляет собой прямостоячий травянистый поликарпик высотой 0.6–0.9 м (в культуре и до 1.2 м). В коллекции Ботанического сада изучаемый вид выращивается с 1972 г. из семян, полученных из Ботанического сада г. Новосибирска. По многолетним наблюдениям (с 2006 по 2014 г.) отмечено, что данный вид ежегодно проходит все стадии сезонного развития: начало вегетации, цветение, плодоношение, окончание вегетации. Период вегетации в Уфимском ботаническом саду продолжается в среднем 164 дня. Представлены результаты изучения прохождения стадий онтогенеза *Clematis integrifolia* L. за 7 лет наблюдений. Дана морфологическая характеристика и вес 1000 шт. семян. Описаны латентный период, состояние проростка, ювенильная, имматурная, виргинильная стадии и молодое генеративное растение. Наблюдения проводились на 30 модельных экземплярах. Семена до посева предварительно были стратифицированы в холодильнике при +3–5°C в течение 5 месяцев. Состояние проростка длится 26–30 дней, ювенильная стадия продолжается 118–122 дня. Первый год жизни растения заканчивают в ювенильном состоянии. Второй год жизни растения начинают в имматурном возрастном состоянии, которое продолжается 2–3 года. На 3–4 год жизни растения входят в виргинильную стадию. На 5–7 год начинается генеративный период. Даны морфологические параметры побегов, листьев и корней растений во всех приведенных возрастных состояниях. Представлены рисунки каждой онтогенетической стадии, описанной в тексте.

Ключевые слова: *Clematis integrifolia* L., онтогенетические стадии.

*Clematis integrifolia* L. (клематис цельнолистный) относится к роду *Clematis* L. Естественный ареал произрастания *C. integrifolia* охватывает Предкавказье, Дагестан, Северный Казахстан, Западную Европу, Малую Азию, Западный Китай, Балканы, юго-восток Западной и юго-запад Восточной Сибири. В природе этот клематис растет среди кустарников, по лесным опушкам и берегам рек. Представляет собой прямостоячий травянистый поликарпик высотой 0.6–0.9 м (в культуре и до 1.2 м). Имеет простые сидячие, продолговатояйцевидные, цельнокрайние, кожистые листья. Корни шнуровидные, цветки одиночные, пониклые, колокольчатые, от 3 до 5 см в диаметре. Чашелистиков 4, сине-фиолетовые, продолговатояйцевидные, загнутые наружу. Цветет обильно в июне–июле на побегах текущего года. Является медоносным

растением. Плод у клематиса орешек. Орешки собраны в соплодие – многоорешек. Орешек плоский, 0.5 см длиной, 0.4 см шириной, коричневого цвета, с длинным опушенным стилодием. Семена созревают в конце июля–начале августа. Декоративен и интродуцирован во многих ботанических садах мира [1–4].

В коллекции Ботанического сада изучаемый вид выращивается с 1972 г. из семян, полученных из Ботанического сада г. Новосибирска. На сегодняшний день в коллекции находятся 8 экземпляров, высотой от 100 до 120 см. В результате фенологических наблюдений с 2006 по 2014 г. выявлено, что растения начинают вегетацию отрастанием побегов в III декаде апреля из почек возобновления, заложенных в основании отмерших побегов, массово зацветают в I декаде июня, цве-

БИЛАЛОВА Роза Альтафовна, Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: nroza@mail.ru

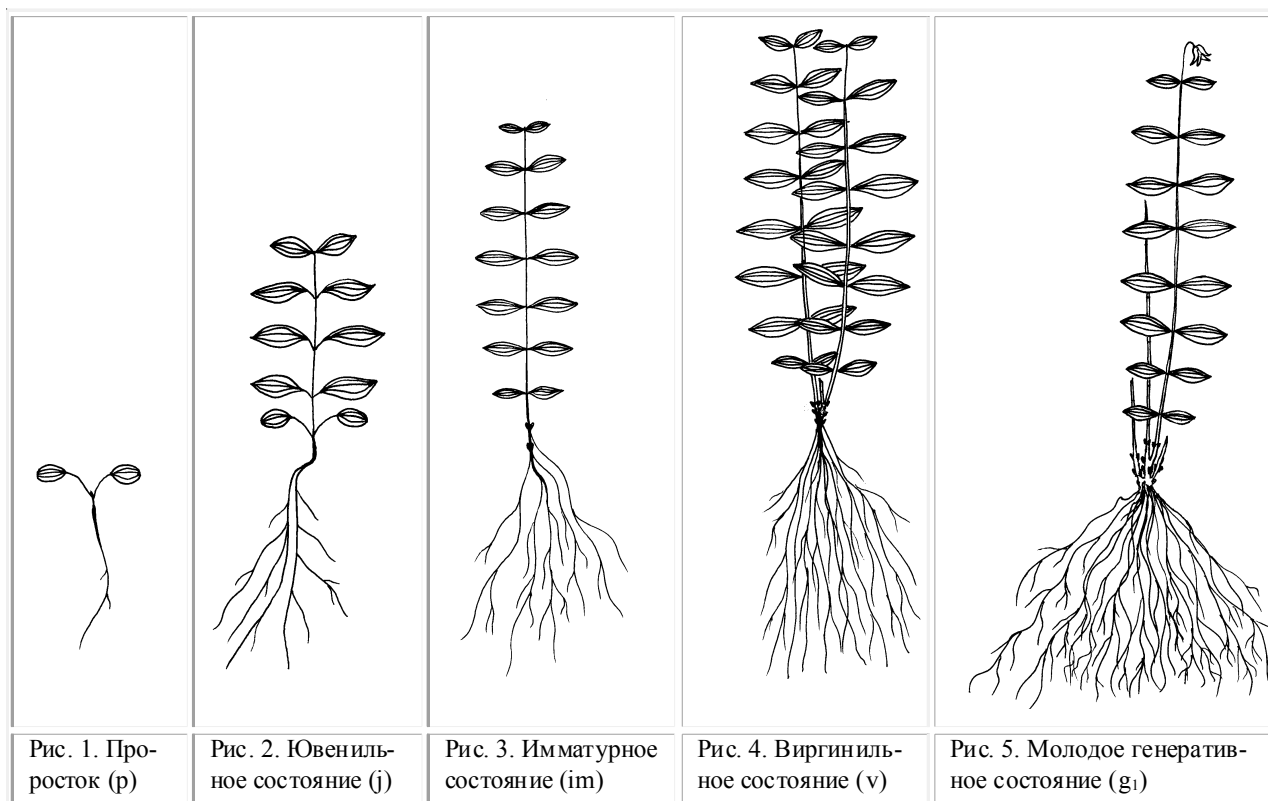
НИКИТИНА Лилия Салиховна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: maska22208@mail.ru

тение продолжается более 4-х недель [5]. Семена созревают в конце августа–начале сентября. Растения заканчивают вегетацию в III декаде октября с отмиранием надземной части. Шкала зимостойкости по П.И. Лапину с соавторами [6] была нами модифицирована [7], поскольку отмирание надземной части у этого клематиса – естественный ежегодный процесс. Клематис цельнолистный имеет бал зимостойкости I (по П.И. Лапину с соавторами), что соответствует нормальному «уходу под зиму» (с отмиранием надземной части) и нормальной вегетации на будущий год. Период вегетации в Уфимском ботаническом саду продолжается в среднем 164 дня [7].

Целью нашей работы было изучение особенностей начальных этапов онтогенеза. Наблюдения

за развитием сеянцев клематиса цельнолистного проводились согласно «Рекомендации...» [8]. Грунтовый посев семян осуществляли путем посева семян в ящики с почвенной смесью, состоящей из песка и земли в соотношении 1:3. Предварительно семена изучаемого вида были подвергнуты 5-месячной холодной стратификации при +3–5°C. Наблюдения проводились на 30 модельных экземплярах. Параметры растений *C. integrifolia* в разных возрастных состояниях приведены в табл.

**Латентный период** составил 157–173 дня (с учетом периода стратификации) и 87–92 дня с момента посева в грунт. Односемянный плод-орешек – продолговатый, плоский, коричневого цвета, с опущенным стилодием. Один многоорешек содержит от 46 до 99 орешков. Семена характеризуются



Т а б л и ц а

Морфометрические показатели *C. integrifolia* в разных возрастных состояниях

| Параметры                   | Возрастные состояния |            |            |              |                      |
|-----------------------------|----------------------|------------|------------|--------------|----------------------|
|                             | проросток            | ювенильное | имматурное | виргинильное | молодое генеративное |
| Высота растений, мм         | –                    | 677.0±2.07 | 279.5±0.78 | 490.0±0.87   | 679.1±1.1            |
| Число пар листьев, шт.      | –                    | 5.8±0.38   | 9.9±0.60   | 7.8±0.13     | 8±0.0                |
| Длина листа, мм             | –                    | 16.3±0.57  | 36.7±0.42  | 57.8±0.06    | 75.4±1.3             |
| Ширина листа, мм            | –                    | 7.2±0.15   | 16.3±0.37  | 27.6±0.27    | 38.2±0.9             |
| Длина междоузлия, мм        | –                    | 16.1±1.87  | 35.1±1.30  | 60.2±1.48    | 78.9±1.8             |
| Число корней I порядка, шт. | 1                    | 2.8±0.36   | 7.0±0.39   | 13.1±0.78    | 35.6±1.6             |
| Длина корней, мм            | 8.8±0.74             | 109.4±0.64 | 216.1±0.84 | 307.0±0.86   | 548.7±1.7            |

следующими параметрами: длина семени со стилодием в среднем – 61.4 мм, длина семени без стилодия – 5.7 мм, ширина семени – 3.7 мм, толщина – 1.0 мм, вес 1000 семян составляет 4.8 г.

***Прегенеративный период. Проросток (р).***

Прорастание промежуточное, т.е. точка роста находится в земле, а семядоли выносятся на поверхность. У проростка семядоли зеленого цвета, продолговатой формы, суженные к верхушке, 10–13 мм длиной, 5–7 мм шириной, имеют черешки 3–4 мм. Гипокотиль – цилиндрический, толщиной 1 мм, длиной 12–15 мм, бледно-желтого цвета. Главный корень достигает 60 мм, имеет 1–2 боковых корешка, 8–10 мм. Семядоли сохраняются до конца вегетации первого года жизни, и этот период составляет 144–152 дня. Поэтому длительность состояния проростков определялась по моменту начала отрастания побега и составила 26–30 дней (рис. 1).

***Ювенильное возрастное состояние (j).***

Переход в данную стадию был отмечен началом отрастания округлого побега, на котором появились первые супротивные листья. Первая пара листьев (длина 8–9 мм и ширина 5 мм) – яйцевидной формы, последующие листья – продолговатые, заостренные на верхушке. Листья светло-зеленые, цельнокрайние, гладкие, 12–15 мм длиной и 4–6 мм шириной, черешки до 1 мм. Листорасположение последующих пар листьев также супротивное. К концу вегетационного сезона побег становится светло-коричневым, отрастает до 58–75 мм, имеет 4–7 пар листьев. Гипокотиль увеличивается в диаметре до 1 мм, становится коричневым. На нем образуются от 1 до 4 придаточных гипокотильных корней, ветвящихся до II–III порядка. Длина корней I порядка составляет от 90 до 150 мм. В базальной части побега в пазухах 1–2 нижних пар листьев, как и в пазухах семядолей, образуются хорошо выраженные пазушные почки. Осенью побег отмирает до уровня почвы. Живыми остаются 1–2 базальных метамера с пазушными почками. Данное возрастное состояние длится 118–122 дня (рис. 2).

***Имматурное возрастное состояние (im).***

На следующий год за счет симподиального возобновления отрастает 1 побег, развивающийся из пазушных почек. Побег четырехгранный, достигает в высоту от 180 до 350 мм и несет 10–12 пар лис-

тьев. Листовая пластинка цельнокрайняя, продолговатая, заостренная на верхушке, длиной до 43 мм и шириной до 13 мм. Корневая система несет от 6 до 9 шнуровидных корней I порядка, углубляется в грунт до 180–240 мм и характеризуется увеличением количества придаточных корней, образующихся на гипокотиле. У лежащих растений из пазушных почек 2–4-го междоузлия развиваются боковые побеги. К концу вегетационного сезона нижняя часть главного побега утолщается до 1.4 мм и превращается в короткое вертикальное корневище, на котором закладываются спящие почки, а в 1–2 нижних метамерах побега образуются почки возобновления, покрытые чешуевидными листьями. Длительность данного возрастного состояния – 2–3 года (рис. 3).

***Виргинильное возрастное состояние (v).***

На 3–4 году жизни растения характеризуются развитием 2–4 прямостоячих побегов, высотой 480–520 мм, несущих до 8 пар кожистых листьев. Из четырехгранного побег становится шестигранным, диаметром до 2 мм. Вертикальное короткое корневище имеет диаметр в среднем 3.2 мм. Корневище слаборазветвленное, на нем образуются придаточные корни, общее число которых составляет 26–30 шт. На корневище к концу вегетационного сезона образуются почки возобновления, запас спящих почек увеличивается (рис. 4).

***Молодое генеративное растение (g).***

На 5–7 год на растениях образуются 1–2 побега, несущих 8 пар кожистых листьев и оканчивающихся терминальным цветком. Цветки пониклые, колокольчатые, до 7.5 см в диаметре. Чашелистиков 4, сине-фиолетовые, 36 мм длиной и 12 мм шириной. Тычинки желтые, 56–65 штук, пестиков 68–75 штук. На следующий год побег несет 3 цветка (дихазий). Высота растений колеблется в пределах 63–74 см. Диаметр корневой шейки составляет 5–10 мм. Начиная с базальной части побег шестигранный, но выше 6-го междоузлия стебель становится четырехгранным. В базальной части сохраняется запас спящих почек, но побег текущего года образуется из почек возобновления, заложенных на побегах, которые вегетировали в прошлом году. Корни шнуровидные, слабоветвящиеся. Количество корней первого порядка варьирует от 28 до 39 шт. Длина корней достигает 60 см (рис. 5).

Таким образом, за 5–7 лет клематис цельнолистный в условиях Уфимского ботанического сада проходит следующие стадии онтогенеза: проросток, ювенильное, имматурное, виргинильное возрастные состояния и входит в генеративную стадию развития, т.е. цветение наступает на 5–7 год индивидуального развития.

#### Литература

1. Бескаравайная М.А. Клематисы – лианы будущего. Воронеж: Квартга, 1998. 176 с.
2. Риекстиня В.Э., Риекстиньш И.Р. Клематисы. Л.: Агропромиздат, 1990. 287 с.
3. Донюшкина Е.А., Зубкова Н.В. Клематисы. М.: Кладезь – Букс, 2005. 96 с.
4. Полякова Н.В. Биоразнообразие декоративных кустарников-интродуцентов в Башкирском ботаническом саду // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: Мат-лы международной конференции. Оренбург, 2001. С. 149–150.
5. Насурдинова Р.А., Жигунов О.Ю. Род *Clematis* L. в Ботаническом саду г. Уфы // Научные ведомости БелГУ. 2013. № 10 (153). С. 41–44.
6. Лапин П.И., М.С. Александрова, Н.А. Бородин и др. Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР. М.: Наука, 1975. 547 с.
7. Насурдинова Р.А., Путенихин В.П. Интродукция клематисов в Башкирском Предуралье // Естественные науки. 2010. № 2 (№1). С. 15–22.

8. Рекомендации по изучению онтогенеза интродуцированных растений в ботанических садах СССР. Киев, 1990. 184 с.

#### References

1. Beskaravaynaya M.A. Clematises – the vines of the future, Voronezh, Kvarta, 1998. 176 p.
2. Riekstinya V.E., Riekstinsh I.R. Clematises. Leningrad, Agropromizdat, 1990. 287 p.
3. Donyushkina E.A., Zubkova N.V. Clematises. Moscow, Kladez-Books, 2005. 96 p.
4. Polyakova N.V. Biodiversity of ornamental shrubs introduced to the Bashkir Botanical Garden. Bioraznoobrazie i bioresursy Urala i sopredelnykh territoriy. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii. Orenburg, 2001, pp. 149–150.
5. Nasurdinova R.A., Zhigunov O.Yu. The genus *Clematis* L. in the Botanical Garden of Ufa. Nauchnye vedomosti BelGU, 2013, no. 10 (153), pp. 41–44.
6. Lapin P.I., Aleksandrova M.S., Borodina N.A., Makarov S.N., Petrova I.P., Plotnikova L.S., Sidneva S.V., Stogova N.V., Shcherbatsevich V.D., Yakushina E.I. Arboreal plants in the Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences of the USSR. Moscow, Nauka, 1975. 547 p.
7. Nasurdinova R.A., Putenikhin V.P. Introduction of Clematises to the Bashkir Cis-Urals. Estestvennye nauki, 2010, no. 2 (1), pp. 15–22.
8. Recommendations on studying ontogenesis of introduced plants in botanical gardens of the USSR. Kiev, 1990. 184 p.

## INDIVIDUAL DEVELOPMENT OF *Clematis integrifolia* L. INTRODUCED TO THE BOTANICAL GARDEN-INSTITUTE, UFA SCIENTIFIC CENTRE, RAS

© R.A. Bilalova, L.S. Nikitina

Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences  
195, korpus 3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

The article presents the characteristics of the biological features of *C. integrifolia* L. in nature and under introduction conditions to the Botanical Garden of Ufa. The natural habitat of *C. integrifolia* covers Central, Eastern and Western Europe, Asia Minor, the southeast of Western and the southwest of Eastern Siberia. This species represents herbaceous perennial 0.6–0.9 m high (up to 1.2 m in culture). In the collection of the Botanical Garden this species has been grown since 1972 from seeds supplied by the Botanical Garden of Novosibirsk. Over long-term observations (between 2006 and 2014) it has been noted that this type of seasonal plants passes through all stages of its development, including the early vegetation season, flowering, fruiting and the late vegetation season. The vegetation period in the Botanical Garden of Ufa lasts, on the average, for 164 days. The article discusses the results of the 7-year observations on the initial stages of ontogenesis of *Clematis integrifolia* L. The morphological characteristics and weight of 1000 seeds are given. The latent period, the state of the seedling, the juvenile, immature, virginal stages are described as well as young generative plants. Observations were made on 30 model plants. The seeds were stratified prior to sowing in a refrigerator at +3–5°C for 5 months. The seedling state continues for 26–30 days, and the juvenile stage continues for 118–122 days. The plants complete the first year of their lifecycle at the juvenile stage. The second year begins with the immature stage that lasts for two or three years. Between the ages of three and four years the plants enter the virginal stage. The generative period begins between the ages of five and seven years. Morphological parameters of plant stems, leaves and roots are given for all age conditions. Each ontogenetic stage described in the text is specially illustrated.

Key words: *Clematis integrifolia* L., ontogenesis stages.

**РАЗНООБРАЗИЕ БЕНТОСНЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ РЕКИ БОЛЬШОЙ ИК ПРИРОДНОГО ПАРКА «МУРАДЫМОВСКОЕ УЩЕЛЬЕ»**

© А.Х. Салихова, М.Ю. Шарипова

Впервые исследована альгофлора реки Большой Ик на территории Природного парка «Мурадымовское ущелье», выявлено 67 видов водорослей и цианобактерий. Проведен краткий эколого-географический анализ найденных видов. Установлены пределы колебания индекса сапробности – от 0.36 до 2.22. Основные значения индекса сапробности находились в пределах ксено- и олигосапробных зон (0.36–1.24), что соответствует I классу чистоты вод – «чистая».

Ключевые слова: водоросли, Природный парк «Мурадымовское ущелье», качество воды.

Мурадымовское ущелье – Природный парк на территории Республики Башкортостан, образованный в январе 1998 г. Растительный покров парка отличается высоким разнообразием. В нем преобладают характерные для Южного Урала комбинации широколиственных и светлохвойных лесов с типичными для лесостепной зоны каменистыми, кустарниковыми и ковыльными степями. Разнообразие растительности парка определяется совместным влиянием трех факторов: 1. Присутствие растительных сообществ лесной и степной зон; 2. Смена в направлении с востока на запад сосновых и лиственных лесов широколиственными; 3. Характерное для горных районов явление вертикальной поясности. Парк отличается высоким разнообразием лесных сообществ, которые образуют множество переходных форм, формирующих сложную мозаику его растительного покрова [1].

В настоящее время альгофлора особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Предуралья и Южного Урала изучена фрагментарно. Наиболее подробно исследованы ООПТ в Башкортостане являются заповедники «Шульган-Таш» и Южно-Уральский. На территории Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН проведены

исследования видового состава сообществ эпифитных водорослей в оранжерее и открытом грунте [2].

Территория Природного парка «Мурадымовское ущелье» в альгологическом отношении до настоящего времени не изучалась. В настоящей работе предпринята попытка выявления разнообразия водорослей реки Большой Ик и оценка качества воды на 10 станциях на территории Мурадымовского ущелья.

**Материалы и методы исследования.**

Исследования проводили в пойме реки Большой Ик на территории Природного парка «Мурадымовское ущелье» в 2013–2015 гг. Река Большой Ик является правым притоком реки Сакмара (бассейн Урала). Берет начало на Южных отрогах хребта Уралтау. Питание реки снеговое и дождевое. Главные притоки Большой Ика: река Малый Ик – справа, реки Иняк, Большая Сурень – слева. Длина водотока составляет 340 км, в среднем течении река протекает по территории парка.

Материалом для исследования послужили 30 бентосных образцов. Пробы отбирали в течение 3-х месяцев (июль, август, сентябрь), с периодичностью раз в месяц. Пробы отбирали в 20 см от уреза воды. Станции распо-

САЛИХОВА Альбина Хабировна, Башкирский государственный университет,  
e-mail: salikhova\_1998@list.ru

ШАРИПОВА Марина Юрьевна – д.б.н., проф., Башкирский государственный университет,  
e-mail: sharipovamy@mail.ru



Описание станций отбора бентосных проб реки Большой Ик

| Характеристика станций отбора проб  | Географическое расположение участков*         |
|---|---|
| Первая станция: у въезда на территорию Природного парка, через 2.5 км от КПП; глубина 50 см, дно реки галечно-каменистое. На данном участке река Большой Ик быстротечна, скорость течения 5–7 м/с               | ELEV: 263м<br>N 54°34'27.7"<br>EO 56°51'57.1" |
| Вторая станция: в 1.5 км вверх по течению от участка №1 по правому берегу реки, глубина – 25 см, скорость течения 4–5 м/с. Мелкие камни с обрастаниями водорослей со дна реки                                   | ELEV: 272м<br>N 52°31'25.8"<br>EO 48°53'51.7" |
| Третья станция: в 3 км вверх по течению от второго участка, на левом берегу реки. Глубина – 20 см, дно каменистое, скорость течения 5–6 м/с   | ELEV: 267м<br>N 52°34'33.4"<br>EO 56°52'13.1" |
| Четвертая станция: в 2 км вверх по течению от третьего участка на правом берегу реки. Дно реки галечно-каменистое, глубина 20 см, скорость течения 4–5 м/с  | ELEV: 286м<br>N 52°34'32.2"<br>EO 56°52'17.2" |
| Пятая станция: в 1 км вверх по течению от четвертого участка, на правом берегу реки. Дно реки каменистое, глубина 15 см, скорость течения 4–5 м/с   | ELEV: 281м<br>N 52°34'31.1"<br>EO 56°52'16.3" |
| Шестая станция: в 1 км вверх по течению от пятого участка, на правом берегу реки. Дно реки каменистое, глубина 15 см, скорость течения 4–5 м/с  | ELEV: 247м<br>N 52°34'29.1"<br>EO 56°52'13.4" |
| Седьмая станция: в 2 км вверх по течению от шестого участка, на правом берегу реки. Дно реки песчано-галечное, глубина 20 см, скорость течения 6–7 м/с  | ELEV: 272м<br>N 52°34'29.0"<br>EO 56°52'02.6" |
| Восьмая станция: в 1 км вверх по течению от седьмого участка, на левом берегу реки. Дно – песчано-галечное, глубина 25 см, скорость течения 5 м/с   | ELEV: 287м<br>N 52°34'27.0"<br>EO 56°51'54.9" |
| Девятая станция: в 2 км вверх по течению от восьмого участка, на левом берегу реки. Дно реки песчано-галечное, глубина – 30 см, скорость течения 4–5 м/с  | ELEV: 261м<br>N 52°34'27.4"<br>EO 56°51'51.4" |
| Десятая станция: в 1 км вверх по течению от девятого участка на левом берегу реки. Дно реки песчано-галечное, глубина 60 см, скорость течения 2–3 м/с. В отобранной пробе есть нити макроскопических водорослей | ELEV: 255м<br>N 52°34'42.5"<br>EO 56°52'30.6" |

Примечание: \*географическое расположение участков: ELEV – высота над уровнем моря; N – северная широта; EO – восточная долгота.

ложены вверх по течению реки Большой Ик от главного въезда в Природный парк.

Растительность на станциях отбора проб представлена сообществами укореняющихся водных растений с погруженными листьями (класс РОТАМЕТЕА Klika in Klika et Novak 1941) [3]. Сбор и обработка альгологического материала проводились по общепринятым в альгологии методам исследований. Идентификацию водорослей проводили по сериям «Определителя пресноводных водорослей СССР» [4–8]. Для первоначальной ориентации использовали «Краткий определитель водорослей Башкортостана» [9]. Видовые названия водорослей уточняли по пополюе-

мым спискам опубликованных видов в электронной базе данных Algaebase [10] на октябрь 2015 г.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате исследования бентосных водорослей реки Большой Ик парка «Мурадымовское ущелье» выявлено 67 видов и разновидностей цианобактерий и водорослей. Альгофлора представлена цианобактериями – 10 (15%) видов и водорослями 2 отделов: зелеными – 14 (21%), диатомовыми – 43 (64%) вида.

Десять ведущих семейств объединяют 40 видов и разновидностей водорослей и ци-

анобактерий, что составляет 62% от общего числа таксонов. Среди 10 ведущих семейств преобладают водоросли двух отделов: Bacillariophyta – 43 вида, Chlorophyta – 14 видов. В отделе Bacillariophyta наибольшую видовую насыщенность имеют такие роды, как *Symbella*, *Navicula*. Из диатомовых водорослей по числу таксонов среди семейств доминируют Naviculaceae, Symbellaceae и Tabellariaceae (табл. 2).

Самая высокая вариабельность видов в семействе у цианобактерий и у диатомовых водорослей – она составляет 2.5, у зеленых водорослей – 1.4, а родовая насыщенность видами самая большая – у Cyanobacteria (2.5), в отделах водорослей она ниже: у Bacillariophyta (2.2), Chlorophyta (1.5) (табл. 3).

Выявленный видовой состав водорослей был охарактеризован по географическому распространению и некоторым экологическим параметрам, таким как: отношение к минерализации воды, отношение к активной реакции среды, приуроченности к местообитанию, к уровню органического загрязнения.

Экологический анализ альгофлоры показал, что основную массу водорослей составляют планктонно-бентосные формы (27%), приуроченные к стояче-текучим водоемам с умеренной температурой, по шкале галобности преобладают олигогалобы-индифференты (75%), по отношению к активной реакции среды – алкалифилы.

Сравнение общего систематического списка водорослей бентоса изученных водоемов со списком организмов-индикаторов сапробности позволило выявить 50 индикаторных организмов. Среди них преобладают  $\alpha$ -олигомезосапробы, они составляют 30% от общего числа индикаторных видов. Доля показателей чистой воды, ксеносапробов и олигоксеносапробов составляет 6–8% (табл. 4).

Большинство индикаторных видов относится к диатомовым водорослям. Помимо диатомовых водорослей заметный вклад в состав индикаторных форм вносят Cyanobacteria и водоросли отдела Chlorophyta.

Водоросли бентоса являются важным показателем состояния водоемов, загрязнение

Т а б л и ц а 2

Ведущие семейства и роды альгофлоры бентоса реки Большой Ик

| №  | Семейства         | 1* | 2** | Роды                | 1  | 2   |
|----|-------------------|----|-----|---------------------|----|-----|
| 1  | Naviculaceae      | 7  | 11  | <i>Symbella</i>     | 6  | 9   |
| 2  | Symbellaceae      | 6  | 9   | <i>Navicula</i>     | 5  | 8   |
| 3  | Tabellariaceae    | 6  | 9   | <i>Pinnularia</i>   | 4  | 6   |
| 4  | Pinnulariaceae    | 4  | 6   | <i>Spirogyra</i>    | 4  | 6   |
| 5  | Zygnemataceae     | 4  | 6   | <i>Phormidium</i>   | 3  | 5   |
| 6  | Phormidiaceae     | 3  | 5   | <i>Oscillatoria</i> | 3  | 5   |
| 7  | Gomphonemataceae  | 3  | 5   | <i>Gomphonema</i>   | 3  | 5   |
| 8  | Pseudanabaenaceae | 3  | 5   | <i>Nitzschia</i>    | 3  | 5   |
| 9  | Ulrariaceae       | 2  | 3   | <i>Synedra</i>      | 3  | 5   |
| 10 | Chaetophoraceae   | 2  | 3   | <i>Surirella</i>    | 2  | 3   |
|    | Всего             | 40 | 62% | Всего               | 36 | 57% |

Примечание: \*1 – число видов и разновидностей; \*\*2 – % от общего числа видов.

Т а б л и ц а 3

Таксономический спектр цианобактерий и водорослей реки Большой Ик

| Отдел           | Число   |          |          |       |       |
|-----------------|---------|----------|----------|-------|-------|
|                 | классов | порядков | семейств | родов | видов |
| Сyanobacteria   | 1       | 2        | 4        | 4     | 10    |
| Chlorophyta     | 3       | 5        | 10       | 9     | 14    |
| Bacillariophyta | 1       | 12       | 17       | 20    | 43    |
| Всего           | 5       | 19       | 31       | 33    | 67    |

Т а б л и ц а 4

Экологический спектр водорослей бентоса реки Большой Ик

| Группы                    | Число таксонов | % от общего числа таксонов группы |
|---------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Местообитания             |                |                                   |
| Планктонные(Р)            | 8              | 12                                |
| Бентосные(В)              | 35             | 53                                |
| Планктонно-бентосные(Р-В) | 18             | 27                                |
| Почвенные(S)              | 5              | 8                                 |
| Температура               |                |                                   |
| Холодолобивые(cool)       | 3              | 23                                |
| Умеренные(temp)           | 9              | 69                                |
| Эвритермный(eterm)        | 1              | 8                                 |
| Реофильность              |                |                                   |
| Стоячий(st)               | 9              | 36                                |
| Текущий(str)              | 2              | 8                                 |
| Стояче-текущий(st-str)    | 14             | 56                                |
| Галобность                |                |                                   |
| Мезогалоб(mh)             | 3              | 65                                |
| Олигогалоб-индифферент(i) | 40             | 75                                |
| Олигогалоб-галофил(hl)    | 6              | 11                                |
| Олигогалоб-галофоб(hb)    | 5              | 9                                 |
| Категории индикаторов pH  |                |                                   |
| Алкалифилы(alf)           | 23             | 59                                |
| Индифференты(ind)         | 12             | 31                                |
| Ацидофилы(acf)            | 4              | 10                                |
| Категории сапробности*    |                |                                   |
| х                         | 3              | 6                                 |
| х-о                       | 4              | 8                                 |
| о                         | 9              | 18                                |
| о-β                       | 15             | 30                                |
| β                         | 9              | 18                                |
| β-α, α-β,α                | 10             | 20                                |

Примечание: \*категория сапробности: х – ксеносапроб; х-о – ксено-олигосапроб; о – олигосапроб; о-β – олигомезосапроб; β – мезосапроб; β-α, α-β,α – мезосапроб.

Т а б л и ц а 5

Качество воды на станциях отбора проб реки Большой Ик

| № стан-<br>ции* | Месяцы                  |                         |                        |                         |                       |                        |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
|                 | июль                    |                         |                        | сентябрь                |                       |                        |
|                 | индекс са-<br>пробности | зона сапроб-<br>ности** | класс чис-<br>тоты вод | индекс са-<br>пробности | зона са-<br>пробности | класс чис-<br>тоты вод |
| 1               | 1.24                    | о                       | I                      | 0.78                    | о                     | I                      |
| 2               | 1.07                    | о                       | I                      | 0.36                    | х                     | 0                      |
| 3               | 1.03                    | о                       | I                      | 0.90                    | о                     | I                      |
| 4               | 1.05                    | о                       | I                      | 1.05                    | о                     | I                      |
| 5               | 1.09                    | о                       | I                      | 0.84                    | о                     | I                      |
| 6               | 1.13                    | о                       | I                      | 0.92                    | о                     | I                      |
| 7               | 1.16                    | о                       | I                      | 0.87                    | о                     | I                      |
| 8               | 1.09                    | о                       | I                      | 0.91                    | о                     | I                      |
| 9               | 1.17                    | о                       | I                      | 0.85                    | о                     | I                      |
| 10              | 2.22                    | β                       | II                     | 0.85                    | о                     | I                      |

Примечание: \* 1, 2, и до 10 – описания представлены в табл. 1; \*\*зона сапробности: 0 – олигосапробная; β – мезосапробная; х – ксеносапробная.

которых приводит к изменению биологических факторов среды, в том числе и бентоса. Оценка уровня органического загрязнения воды проведена на основании анализа 50 видов-индикаторов сапробности, из которых большая часть принадлежит отделу *Vacillariophyta* – 34 индикаторных видов и разновидностей водорослей.

Показатели наиболее чистых вод были выявлены на станциях 1–9 реки Большой Ик, они соответствуют олигосапробной зоне, 1 классу чистоты вод. Станция 10 находится вверх по течению реки, где низкая скорость течения и наблюдается застой воды, кроме того, здесь расположены дома для отдыхающих близко к берегу реки Большой Ик. В летней период выявленный индекс сапробности составил 2.22, что соответствует  $\beta$ -мезосапробной зоне и 2 классу чистоты вод (табл. 5). В осенний период на всех станциях без исключения индекс сапробности составлял от 0.36 до 1.05 (0 и 1 классы чистоты вод).

**Заключение.** В результате исследования бентосных водорослей реки Большой Ик Природного парка «Мурадымовское ущелье» выявлено 67 видов и разновидностей цианобактерий и водорослей. Наиболее разнообразны видами отдел *Vacillariophyta*. Остальные отделы водорослей представлены значительно меньшим числом видовых таксонов. Самая высокая вариабельность видов в семействе и родовая насыщенность видами – у цианобактерий. На станциях отбора проб индексы сапробности варьировались от 0.36 до 2.22. В целом вода реки Большой Ик чистая, относится к 1 классу чистоты вод на всех изученных станциях, кроме летних проб станции № 10.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Схема генерального плана организации Природного парка «Мурадымовское Ущелье». Т. 2. Эколого-экономическое обоснование Природного парка «Мурадымовское Ущелье» / под ред. А.И. Соломеща. Уфа: МЧС РБ. НИИ БЖД РБ, 1999. 156 с.
2. Дубовик И.Е., Шарипова М.Ю. Разнообразие и структура сообществ эпифитных водорослей

открытого и закрытого грунта Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН // Вестник Башкирского университета. 2014. Т. 19, № 1. С. 85–89.

3. Ямалов С.М., Мартыненко В.Б., Голуб В.Б., Баишева Э.З. Продромус растительных сообществ Республики Башкортостан: препринт. Уфа: Гилем, 2004. 64 с.

4. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Советская наука, 1953. Вып. 2. 652 с.

5. Дедусенко-Щеголова Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов Л.А. Зеленые водоросли. Класс вольвоксовые // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Изд-во АН СССР. 1959. Вып. 8. 230 с.

6. Дедусенко-Щеголова Н.Т., Голлербах М.М. Желто-зеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. Вып. 5. 273 с.

7. Паламарь-Мардвинцева Г.М. Зеленые водоросли. Конъюгаты (2) // Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1982. Вып. 11. 483 с.

8. Мошкова Н.А., Голлербах М.М. Зеленые водоросли. Класс улотриксковые (1). Порядок Улотриксковые // Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1986. Вып. 10. 366 с.

9. Шкундина Ф.Б., Дубовик И.Е., Шарипова М.Ю., Габидуллина Г.Ф. Краткий определитель водорослей Башкортостана: учебное пособие. Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. 196 с.

10. Guiry M. et al. Algaebase World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy> (дата обращения: 12.10.2015).

#### References

1. General layout plan of the National Park «Muradymovo Gorge». Vol. 2. Environmental and economic substantiation of the National Park «Muradymovo Gorge». A.I. Solomeshch (ed.). Ufa, MChS RB, NII BZhD RB, 1999. 156 p.
2. Dubovik I.E., Sharipova M.Yu. Diversity and structure of the epiphytic algal communities on indoor and outdoor soils of the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Centre, RAS. Vestnik Bashkirskogo universiteta, 2014, vol. 19, no. 1, pp. 85–89.
3. Yamalov S.M., Martynenko V.B., Golub V.B., Baisheva E.Z. Prodrum of plant communities in the Republic of Bashkortostan. Preprint. Ufa, Gilem, 2004. 64 p.
4. Gollerbach M.M., Kosinskaya E.K., Polyanskiy V.I. Blue green algae. Opredelitel presnovodnykh vodorosley SSSR. Issue 2. Moscow Sovetskaya nauka, 1953. 652 p.

5. Dedusenko-Shchegolova N.T., Matvienko A.M., Shkorbatov L.A. Green algae. Class Volvox, *Opredelitel presnovodnykh vodorosley SSSR*. Issue 8. Moscow, AN SSSR, 1959. 230 p.

6. Dedusenko-Shchegolova N.T., Gollerbakh M.M. Yellow green algae. *Opredelitel presnovodnykh vodorosley SSSR*. Issue 5. Moscow, Leningrad, AN SSSR. 1962. 273 p.

7. Palamar-Mordvintseva G.M. Green algae. Conjugates (2). *Opredelitel presnovodnykh vodorosley SSSR*. Issue 11. Leningrad, Nauka, 1982. 483 p.

8. Moshkova N.A., Gollerbakh M.M. Green algae. Class Ulothrix (1). Order Ulothrix. *Opredelitel*

*presnovodnykh vodorosley SSSR*. Issue 10. Leningrad, Nauka, 1986. 366 p.

9. Shkundina F.B., Dubovik I.E., Sharipova M.Yu., Gabidullina G.F. Brief algae identification guide of Bashkortostan. Training manual. Ufa, BashGU, 2013. 196 p.

10. Guiry M.D., Guiry G.M. Algaebase. Worldwide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Available at: <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy> (accessed October 12, 2015).

---

## **BENTHIC ALGAL BIODIVERSITY OF THE BOLSHOY IK RIVER AT THE NATURAL PARK «MURADYMOVO GORGE»**

© **A.Kh. Salikhova, M.Yu. Sharipova**

Ufa Bashkir State University,  
32, ulitsa Zaki Validi, 450076, Ufa, Russian Federation

The first research on the benthic algal flora of the Bolshoy Ik River in the Natural Park «Muradymovo Gorge» has revealed 67 cyanobacterial and algal taxa. The greatest variability (2.5) is observed among cyanobacteria and blue green algae. This article gives brief environmental and geographical characteristics of the species found there. The major portion of the cyanobacterial and algal coenoses is represented by planktonic and benthic forms (27%) confined to stagnant or slowly flowing waters of moderate temperatures, with oligohalobes-indifferents (75%) as a dominant group according to the halobity scale and alkaliphiles in relation to the active pH. The variation limits of saprobity index values were determined in the range between 0.36 and 2.22. In general, the saprobity index values fell within the xeno- oligosaprobe zones (0.36–1.24), which is in correspondence with water purity class 1.

Key words: algae, Natural Park «Muradymovo Gorge», water quality.

УДК 579.61

**БЕТА-ЛАКТАМАЗЫ РАСШИРЕННОГО СПЕКТРА ДЕЙСТВИЯ (БЛРС),  
ПРОДУЦИРУЕМЫЕ КЛИНИЧЕСКИМИ ШТАММАМИ *Escherichia coli*  
ПРИ ИНФЕКЦИЯХ МОЧЕВЫВОДЯЩИХ ПУТЕЙ**

© Б.М. Аль Баяти, Е.В. Глинская, О.В. Нечаева, И.О. Лунева

Настоящее исследование направлено на определение распространенности бета-лактамаз расширенного спектра действия, продуцируемых клиническими штаммами *Escherichia coli* при инфекциях мочевыводящих путей (ИМП), а также на изучение чувствительности исследуемых штаммов к антибиотикам. Результаты показали, что в 111 пробах мочи выявлены штаммы *E. coli*, 57 штаммов продуцировали БЛРС. Показано наличие лекарственной полирезистентности к более чем 60% протестированных антибиотиков. Клинические штаммы проявили чувствительность к препаратам имипенем и амикацин.

Ключевые слова: бета-лактамазы, *E. coli*, инфекции мочевыводящих путей, резистентность к антибиотикам.

Инфекции мочевыводящих путей являются одними из наиболее распространенных заболеваний, встречающихся в медицинской практике, и затрагивают все возрастные группы населения. Энтеробактерии в целом и *E. coli* в частности являются основными бактериальными возбудителями урогенитальных инфекций [1, 2]. Образование бета-лактамаз расширенного спектра действия представляет собой один из основных механизмов, применяемых грамотрицательными бактериями для выработки резистенции к  $\beta$ -лактамным антибиотикам. Бета-лактамазы представляют группу ферментов, кодируемых плазмидами, которые могут разрушить  $\beta$ -лактамное кольцо антибиотиков. Поскольку гены, опосредующие другие механизмы сопротивления, часто располагаются на той же плазмиде, штаммы, имеющие БЛРС, обычно показывают полирезистентность к широкому спектру антимикробных средств. Данный вопрос пред-

ставляет собой глобальную проблему, которая приводит к увеличению смертности, расходов на здравоохранение, терапевтическим неудачам и продлевает срок клинического заболевания [3].

В связи с отсутствием информации относительно БЛРС, продуцируемых *E. coli* при инфекциях мочевыводящих путей, как по России в целом, так и в городе Саратове в частности, данное исследование было проведено для определения распространенности этих микроорганизмов среди пациентов, больных урогенитальными инфекциями.

Образцы мочи (325 шт.) были собраны у пациентов разных возрастных групп (6–76 лет) с клиническими симптомами инфекций мочевыводящих путей. Образцы культивировались на агаре Мак-Конки. Образцы мочи, содержащие более  $10^5$  КОЕ/мл единичного патогена, рассматривались как значимая бактериурия. Идентификация бактериальных изолятов

АЛЬ БАЯТИ Басим Мохаммад, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, e-mail: basimmi80@yahoo.com

ГЛИНСКАЯ Елена Владимировна – к.б.н., Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, e-mail: elenavg-2007@yandex.ru

НЕЧАЕВА Ольга Викторовна – к.б.н., Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, e-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

ЛУНЕВА Ирина Олеговна – к.мед.н., Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, e-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

была проведена с помощью стандартных методов, а также с использованием API 20E. Тест на чувствительность к антибиотикам проводили методом Кирби – Бауэра с использованием агара Мюллера – Хинтона. Скрининг и тесты, подтверждающие наличие БЛРС у изолятов, были проведены стандартными методами. Штамм *E. coli* ATCC 25922 использовался в качестве отрицательного контроля, не продуцирующего БЛРС [4, 5].

Для определения чувствительности выделенных штаммов к антибиотикам использовались диски со следующими препаратами: амикацин (30 мкг), ампициллин (10 мкг), аугментин (амоксциллин–клавулановая кислота) (30 мкг), цефотаксим (30 мкг), цефокситин (30 мкг), цефтазидим (30 мкг), цефтриаксон (30 мкг), ципрофлоксацин (5 мкг), гентамицин (10 мкг), имипенем (10 мкг), налидиксовая

кислота (30 мкг), нитрофурантион (300 мкг), пиперациллин (100 мкг), сульфаметоксазол – триметоприм (23.75 мкг).

Результаты данного исследования показали, что из 200 протестированных образцов мочи были выделены патогенные микроорганизмы, среди них *E. coli* изолировалась из 111 образцов (55.5%). Сходная частота выделения *E. coli* была также зарегистрирована в других исследованиях [6]. Уропатогенная *E. coli* обладает различными факторами вирулентности, которые облегчают ее внекишечное выживание, размножение в мочеполовых путях и создание цитопатических эффектов [7].

Распределение БЛРС, продуцируемых изолятами *E. coli*, показано в табл. 1. Нами было обнаружено, что 65 (58.5%) из 111 изолятов продемонстрировали промежуточную

Т а б л и ц а 1

Распределение изолятов *E. coli* в соответствии с методами обнаружения БЛРС

| Общее количество изолятов <i>E. coli</i> (абс/%) | БЛРС, продуцируемые <i>E. coli</i> |  |
|--|------------------------------------|--|
|  | первоначальный скрининг (абс/%)    | фенотипический подтверждающий тест (абс/%) |
| 111 / 100  | 65 (58.5)                          | 57 (51)                                    |

Т а б л и ц а 2

Чувствительность к антибиотикам клинических штаммов *E. coli*, продуцирующих БЛРС

| Антибиотики | Количество чувствительных изолятов (%) | Количество резистентных изолятов (%) |
|-------------|--|--------------------------------------|
| IPM         | 57 (100)                               | 0 (0)                                |
| AK          | 57 (100)                               | 0 (0)                                |
| F           | 52 (91)                                | 5 (9)                                |
| CIP         | 38 (67)                                | 19 (33)                              |
| GM          | 25 (44)                                | 32 (56)                              |
| NA          | 20 (35)                                | 33 (65)                              |
| CRO         | 19 (33)                                | 38 (67)                              |
| SXT         | 12 (21)                                | 45 (79)                              |
| AMC         | 7 (12)                                 | 50 (88)                              |
| PIP         | 7 (12)                                 | 50 (88)                              |
| CTX         | 3 (5)                                  | 54 (95)                              |
| AMP         | 1 (2)                                  | 56 (98)                              |
| CAZ         | 1 (2)                                  | 56 (98)                              |
| FX          | 0 (0)                                  | 57 (100)                             |

Примечание. АК – амикацин, AMP – ампициллин, AMC – аугментин, CTX – цефотаксим, FX – цефокситим, CAZ – цефтазидим, CRO – цефтриаксон, CIP – ципрофлоксацин, GM – гентамицин, IPM – имипенем, NA – налидиксовая кислота, F – нитрофурантион, PIP – пиперациллин, SXT – сульфаметоксазол – триметоприм

устойчивость к более чем трем тестируемым цефалоспорином. Обнаружение продуцентов БЛРС подтверждается фенотипическим методом (синергидный тест двойных дисков), а также включает в себя тестирование на наличие подавляющего действия клавулановой кислоты на препараты цефтазидим, цефотаксим и цефтриаксон. Данный метод основан на использовании цефалоспоринов с применением и без применения 10 мкг амоксиклава. Согласно [5], увеличение диаметра зоны подавления на 5 мм или более вокруг тестируемых цефалоспоринов в сочетании с амоксиклавом в сравнении с зоной при одиночном испытании считалось показателем выработки БЛРС. При использовании данного метода 57 (51%) изолятов из 111 оказались продуцентами БЛРС. Такое выявление было также отражено в других исследованиях [8]. Разница в результатах между использованными методами может быть связана с наличием у исследуемых штаммов других  $\beta$ -лактамаз наряду с наличием БЛРС, которые маскируют выработку БЛРС в фенотипическом тесте.

Устойчивость к антибиотикам для *E. coli* становится все более распространенным явлением, что отчасти является результатом чрезмерного и неправильного применения антибиотиков. Чувствительность к антибиотикам выделенных штаммов, обладающих БЛРС, представлена в табл. 2. Изоляты продемонстрировали полирезистентность к 9 (64%) из 14 испытуемых антибактериальных препаратов, 7 из которых (78%) являлись  $\beta$ -лактамами антибиотиками. Однако те же изоляты показали 100%-й уровень чувствительности к имипенему и амикацину, 91%-й уровень по отношению к нитрофурантоину и 67%-й уровень по отношению к ципрофлоксацину. Полученные результаты совпадают с результатами других исследователей [6, 8, 9].

Вероятные причины резистентности можно объяснить следующими фактами:

1. Выработка  $\beta$ -лактамаз TEM-1, которые являются наиболее часто встречающимися  $\beta$ -лактамазами у грамотрицательных бактерий, в особенности у *E. coli*.

2. Снижение активности  $\beta$ -лактаманых антибиотиков по причине некоторых факторов, в том числе: чувствительность и сродство антибиотика к  $\beta$ -лактамазам, проникновение через наружную мембрану, количество  $\beta$ -лактамаз.

Другое возможное объяснение – это нарушение пациентами сроков лечения антибиотиками, что может способствовать развитию резистентности и облегчению выживания бактерий. Низкий уровень антибактериальных веществ в организме может «запустить» специфические гены, например, расположенные на приобретенной плазмиде, что позволяет повысить резистентность. Поскольку требуется большая концентрация антибиотика для уничтожения бактерий, может развиться абсолютная устойчивость, и препарат не будет эффективным [10].

Мы можем сделать вывод, что значительное количество клинических изолятов *E. coli*, выявленных в моче больных урогенитальными инфекциями, являлось продуцентами БЛРС и продемонстрировали полирезистентность к более чем половине антибактериальных препаратов, обычно используемых при традиционной терапии ИМП. Таким образом, определение БЛРС следует проводить при обнаружении в моче бактерий *E. coli* с целью правильного выбора наиболее подходящего антибиотика, применяемого в лечении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Grabe M., Bjerklund-Johansen T.E., Botto H.B., Wullt M., Zek K.G., Naber R.S., Pickard P., Wagenlehner F. Guidelines on Urological Infections // European Association of Urology. 2012. Vol. 38, № 4. P. 236–251.
2. Glinskaya E.V., Al-Bayati B.M., Nechaeva O.V., Luneva I.O. Isolation, identification and antimicrobial susceptibility of uropathogenic *Escherichia coli* and *Klebsiella* spp. // International Research J. 2015. № 10 (41). Ч. 3. С. 89.
3. Jain A., Mondal R. TEM & SHV genes in extended spectrum beta-lactamase producing *Klebsiella* species beta their antimicrobial resistance pattern // Indian J. of Medical Research. 2008. Vol. 128, № 6. P. 759–764.
4. Health Protection Agency. Investigation of Urine // UK Standards for Microbiology Investigations. 2012. B. 41. Issue 7.1. P. 1–41. URL: <http://www.hpa.org.uk/SMI/pdf>.
5. Al-Mayahi F.S.A., Al-Mohana A.M. Incidence of Extended-Spectrum  $\beta$ -lactamases ESBLs producing



*Escherichia coli* in patients with urinary tract infection // Journal of Al-Qadisiyah for Pure Science. 2014. Vol. 19, № 2. P. 1–55.

6. Глинская Е.В., Аль-Баяти Б.М., Нечаева О.В., Лунева И.О. Чувствительность к антибиотикам патогенных микроорганизмов при смешанных инфекциях мочевыводящих путей // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Химия. Биология. Экология». 2015. Т. 15, вып. 4. С. 63–67.

7. Nanakali Z.G., Ahmad Z.F. Antibiotic Resistance Study and Detection of Virulence Gene among Uropathogenic *E. coli* // Kirkuk University J. Scientific Studies. 2015. Vol. 10, № 3. P. 205–229.

8. Eshetie S., Unakal C., Gelaw A., Ayelign B., Endris M., Moges F. Multidrug resistant and carbapenemase producing Enterobacteriaceae among patients with urinary tract infection at referral Hospital, Northwest Ethiopia // Antimicrobial Resistance and Infection Control. 2015. Vol. 4, № 12. P. 1–8.

9. Poulou A., Grivakou E., Vrioni G., Koumaki V., Pittaras T., Pournaras S., Tsakris A. Modified CLSI Extended-Spectrum-Lactamase (ESBL) Confirmatory Test for Phenotypic Detection of ESBLs among Enterobacteriaceae Producing Various  $\beta$ -Lactamases // J. of Clinical Microbiology. 2014. Vol. 52, № 5. P. 1483–1489.

10. Aziz S.Z., Abbas S.J., Addoos S.A. Identification of ESBL CTX-M-15 Genes from Isolates of Urinary Tract Infection // Al-Kufa J. of Biology. 2015. Vol. 7, № 1. P. 1–16.

#### References

1. Grabe M., Bjerklund-Johansen T.E., Botto H.B., Wullt M., Cek K.G., Naber R.S., Pickard P., Wagenlehner F. Guidelines on urological infections. European Association of Urology. 2012. vol. 38, no. 4, pp. 236–251.

2. Glinskaya E.V., Al-Bayati B.M., Nechaeva O.V., Luneva I.O. Isolation, identification and antimicrobial susceptibility of uropathogenic *Escherichia coli* and *Klebsiella* spp. International Research Journal, 2015, no. 10 (41), part 3, p. 89.

3. Jain A., Mondal R. TEM and SHV genes in extended spectrum beta-lactamase producing *Klebsiella* species beta their antimicrobial resistance pattern. Indian Journal of Medical Research, 2008, vol. 128, no. 6, pp. 759–764.

4. Health Protection Agency. Investigation of urine. UK Standards for Microbiology Investigations, 2012, vol. 41, issue 7.1, pp. 1–41. Available at: <http://www.hpa.org.uk/SMI/pdf>

5. Al-Mayahi F.S.A., Al-Mohana A.M. Incidence of extended-spectrum  $\beta$ -lactamases ESBLs producing *Escherichia coli* in patients with urinary tract infection. Journal of Al-Qadisiyah for Pure Science. 2014. vol. 19, no. 2, pp. 1–55.

6. Glinskaya E.V., Al-Bayati B.M., Nechaeva O.V., Luneva I.O. Drug susceptibility of pathogenic microorganisms in mixed urinary tract infections. Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Khimiya. Biologiya. Ekologiya, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 63–67.

7. Nanakali Z.G., Ahmad Z.F. Antibiotic resistance study and detection of virulence gene among uropathogenic *E. coli*. Kirkuk University Journal-Scientific Studies, 2015, vol. 10, no. 3. pp. 205–229.

8. Eshetie S., Unakal C., Gelaw A., Ayelign B., Endris M., Moges F. Multidrug resistant and carbapenemase producing Enterobacteriaceae among patients with urinary tract infection at referral Hospital, Northwest Ethiopia. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 2015, vol. 4, no. 2, pp. 1–8.

9. Poulou A., Grivakou E., Vrioni G., Koumaki V., Pittaras T., Pournaras S., Tsakris A. Modified CLSI extended-spectrum-lactamase (ESBL) confirmatory test for phenotypic detection of ESBLs among Enterobacteriaceae producing various  $\beta$ -lactamases. Journal of Clinical Microbiology, 2014, vol. 52, no. 5, pp. 1483–1489.

10. Aziz S.Z., Abbas S.J., Addoos S.A. Identification of ESBL CTX-M-15 genes from isolates of urinary tract infection. Al-Kufa Journal of Biology, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 1–16.

---

## EXTENDED SPECTRUM BETA-LACTAMASES (ESBLs) PRODUCING *Escherichia coli* IN URINARY TRACT INFECTION

© B.M. Al-Bayati, E.V. Glinskaya, O.V. Nechaeva, I.O. Luneva

The current study was aimed to detect the prevalence of ESBLs producing *Escherichia coli* in urinary tract infection (UTI), as well as their antimicrobial susceptibility patterns. Our results demonstrated that 111 specimens showed positive cultures for *E. coli*, and of them, 57 were confirmed as ESBLs producers, which exhibited a multidrug resistant feature toward more than 60% of the tested antibiotics. Same isolates exhibited full sensitivity toward imipenem and amikacin.

Key words: beta-lactamase, *E. coli*, urinary tract infection, drug resistant.

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КРОНЫ *Quercus robur* L. В ОНТОГЕНЕЗЕ  
В СООБЩЕСТВАХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ОСВЕЩЕННОСТИ**

© М.Н. Стаменов

Исследовали строение кроны и ее преобразование в онтогенезе у особей *Quercus robur* L., произрастающих на зарастающих лугах, в разреженных дубняках и светлых сосняках. Исследования проводили в Южном Подмоскowie и в заповеднике «Калужские Засеки» (Калужская область). У особей устанавливали абсолютный возраст, измеряли высоту, диаметр на уровне почвы и на высоте груди, радиус кроны по четырем проекциям. Измеряли количественные характеристики двухлетних побеговых систем, учитывали их разнообразие в пределах скелетных ветвей. Для скелетных ветвей описывали форму, угол прикрепления, особенности их дочерних ветвей. У ствола определяли характер нарастания и ветвления. Установлено, что при различных условиях освещения развитие кроны особи проходит через три основные стадии: неветвящаяся в ювенильном онтогенетическом состоянии, со слабо развитыми плагиотропными ветвями в начальном имматурном состоянии, с характерным ритмом ветвления (начинается в конечном имматурном состоянии – начальном виргинильном состоянии). Характерный ритм ветвления у особей на зарастающих лугах и в разреженных дубняках заключается в регулярном образовании дугообразных ветвей, преимущественно в псевдомутовках; у особей в сосняках – в нерегулярном образовании плагиотропных ветвей, формирующих этажированную крону. Наибольшее разнообразие вариантов двухлетних побеговых систем отмечено у виргинильных особей на зарастающих лугах. На зарастающих лугах пониженная жизненность отмечена у имматурных особей, поврежденных копытными. У таких особей нарастание симподиальное, с образованием многочисленных осей замещения. В разреженных дубняках пониженная жизненность отмечена у затеняемых виргинильных и генеративных особей. Для них характерны сниженные интенсивность ветвления и заполнения кроны. В светлых сосняках у особей пониженной и низкой жизненности наблюдаются различные варианты псевдодихотомической или зонтиковидной конструкции кроны. Морфометрические характеристики виргинильных и младших генеративных особей на зарастающих лугах свидетельствуют об ускоренном прохождении ими онтогенеза в условиях оптимальной освещенности.

Ключевые слова: *Quercus robur* L., крона, онтогенез, побеговые системы, освещенность.

**Введение.** Оценка развития побеговых систем кроны является одним из наиболее удобных способов отслеживания характера онтогенеза у древесных растений. Пути преобразования кроны в ходе онтогенеза для ряда основных древесных растений умеренного климата были описаны И.Г. Серебряковым [1], он уделял внимание преимущественно крупным осям и коррелятивным взаимодействиям между ними. В рамках концепции дискретного описания онтогенеза [2] обобщен комплекс разнородных, преимущественно морфометрических и физиологических признаков, характеризующих популяционное поведение вида [3]. Совмещение биоморфоло-

гических и онтогенетических подходов для древесных растений выполнено в серии работ И.С. Антоновой с соавторами [4–6]. Для дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) наиболее крупные описания трансформации побеговых систем в ходе онтогенеза выполнены И.Г. Серебряковым [1], А.В. Ивановой и М.Т. Мазуренко [7], однако вопросы классификации его побеговых систем, их преобразования в онтогенезе, связь с экологическими условиями остаются слабоизученными. Целью своей работы мы поставили описание изменений морфометрических и структурных характеристик кроны *Q. robur* в прегенеративном и генеративном периодах онтогенеза в условиях

центра нечерноземной зоны Европейской России.

**Объекты и методы исследования.** Исследования проводили в окрестностях городов Пущино и Протвино (Московская обл.), в заповеднике «Калужские Засеки» и его охранной зоне (Калужская обл.). Описания проводили на зарастающих лугах на дерново-подзолистых суглинистых почвах; в разреженных дубняках на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах, и в сравнительно светлых сосновых лесах на дерново-подзолистых почвах на супесях, подстилаемых суглинками и глинами. Разреженные дубняки сформировались в результате зарастания лугов. Поэтому при описании пути преобразования кроны *Q. robur* в онтогенезе на открытых пространствах для характеристики прегенеративного периода онтогенеза и частично младшего генеративного состояния мы рассматривали данные по особям, произрастающим на зарастающих лугах, а для характеристики конечного виргинильного состояния и генеративного периода онтогенеза – данные по особям, произрастающим в разреженных дубняках.

На зарастающих лугах описано 102 особи от ювенильного до младшего генеративного состояния включительно. В разреженных дубняках описано 37 особей от конечного виргинильного состояния до средневозрастного генеративного состояния. В сосняках описано 148 особей от ювенильного до младшего генеративного состояния.

При описании особей определяли их онтогенетическое состояние и жизненность (виталитет) [3]. Устанавливали абсолютный возраст, измеряли значения морфометрических параметров: высоты, диаметра на уровне почвы и на высоте груди (ДВН), радиуса кроны по четырем направлениям. При исследовании биоморфологических характеристик за минимальную единицу строения кроны принимали двухлетнюю побеговую систему (ДПС) в понимании И.С. Антоновой [8]. Измеряли длину и число междоузлий элементарных и дочерних побегов ДПС; число дочерних побегов; тип почки, из которой обра-

зовался дочерний побег, по Т.Н. Астаповой [9]; характер распределения дочерних побегов вдоль материнского; число сезонных приростов в составе годичного побега. Рассматривали разнообразие ДПС в пределах ствола (лидерной оси) и скелетных ветвей. Для скелетных ветвей описывали также форму, угол прикрепления к стволу. У ствола определяли характер нарастания (моноподиальный, неустойчиво-моноподиальный, симподиальный) и ветвления (по преобладающему типу скелетных ветвей). Достоверность различий между значениями морфометрических признаков устанавливалась с помощью критерия Mann – Whitney при  $p = 0.05$ .

**Результаты и обсуждение.** В условиях сравнительно высокой освещенности на зарастающих лугах у особей дуба жизненность обычно нормальная. В этих условиях пониженная жизненность отмечена у имматурных особей и виргинильных особей первой подгруппы, поврежденных копытными. У таких особей нарастание преимущественно симподиальное, образуются пучки осей замещения из боковых либо вечнопочек вместо апикальной. По мере зарастания лугов у части особей кроны частично затеняются, поэтому фактором, определяющим жизненное состояние особи, становится освещенность. У виргинильных и генеративных особей пониженной жизненности в разреженных дубняках интенсивность ветвления снижена, скелетные ветви часто перевершиниваются, крона производит впечатление рыхлой, зачастую ассиметричной, с неправильной формой.

В сосняках представлены особи нормальной, пониженной и низкой жизненности. В условиях неполного освещения основным признаком для определения жизненности мы считаем выраженность лидерной оси, соотношение между скелетными ветвями и осями замещения, степень преобладания ортотропного роста над плагиотропным. У особей нормальной жизненности на протяжении онтогенеза при выраженной лидерной оси формируются плагиотропные и наклонные скелетные ветви. У особей пониженной жизненности при преимущественно симподиаль-

ном нарастании образуются несколько развилок, главная ось теряется, в имматурном состоянии крона приобретает вид приподнятого на некоторую высоту куста, в виргинильном и генеративном состояниях верхняя часть кроны имеет дисковидную форму. У особей низкой жизненности образование развилок из вечных почек при перевершиниваниях наиболее выражено, что позволяет говорить о псевдодихотомической организации кроны. Даже у особей нормальной жизненности в прегенеративном периоде онтогенеза при развитии в сосняках значения количественных признаков ДПС ниже, а частота перевершиниваний выше, чем при развитии на зарастающих лугах. Кроме того, у особей пониженной жизненности удлинено время пребывания в онтогенетических состояниях, особенно в прегенеративных. Помимо этого, у особей нормальной жизненности в сосняках, начиная с виргинильного состояния и до младшего генеративного состояния, средние значения морфометрических признаков достоверно выше, чем у особей, произрастающих на зарастающих лугах и в разреженных дубняках (данные в табл.). На наш взгляд, причиной этого факта является ускоренное прохождение онтогенеза особями нормальной жизненности в условиях максимальной освещенности на зарастающих лугах вплоть до

начала генеративного периода и замедление его скорости в средневозрастном генеративном состоянии по мере смыкания крон.

Рассмотрим основные преобразования в кроне особей нормальной жизненности, произрастающих в условиях зарастающих лугов и разреженных дубняков.

В ювенильном состоянии нарастание неустойчиво-моноподиальное, ветвления нет. Возраст особей – 1–3 года.

В начальном имматурном состоянии начинают ветвиться годовичные побеги ствола, образуются медленнорастущие и короткоживущие плагиотропные ветви из вечных почек. Число побегов из боковых почек – 2–4. Возраст – 6–8 лет. В конечном имматурном состоянии особь переходит к характерному для всего онтогенеза ритму ветвления, заключающемуся в регулярном, с редкими перерывами, образовании псевдомутовок из 3–6 ветвей с различными углами прикрепления. Благодаря этому ритму, у виргинильных и генеративных деревьев при росте на открытых пространствах крона имеет вид сложной системы дуг различных форм. Число побегов из боковых почек составляет 5–7. Возраст особей – 6–12 лет.

В начальном виргинильном состоянии наиболее развитые ветви приобретают дугообразную форму. Достигается наибольшее раз-

Т а б л и ц а

*Значения морфометрических признаков у особей нормальной жизненности в онтогенезе при росте в условиях зарастающих лугов и разреженных дубняков, а также в светлых сосняках*

| Онтогенетическое состояние    | Индекс состояния | Высота, м | Диаметр на уровне почвы, см | Радиус проекции кроны, м |          |
|-------------------------------|------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|----------|
| Имматурное                    | Im1              | a         | 1.4±0.08                    | 2.1±0.25                 | 0.4±0.01 |
|                               |                  | б         | 1.4±0.12                    | 2.2±0.41                 | 0.7±0.05 |
|                               | Im2              | a         | 2±0.13                      | 4.5±0.50                 | 0.6±0.03 |
|                               |                  | б         | 2.6±0.21                    | 4.3±0.53                 | 1.1±0.06 |
| Виргинильное                  | v1               | a         | 3.3±0.22                    | 7.5±0.42                 | 1.4±0.07 |
|                               |                  | б         | 8.1±0.93                    | 11±1.19                  | 2.2±0.22 |
|                               | v2               | a         | 5.4±0.38                    | 15.7±1.69                | 2.4±0.24 |
|                               |                  | б         | 15.5±0.81                   | 19±1.72                  | 3.3±0.32 |
| Молодое генеративное          | g1               | a         | 7.9±1.52                    | 21.9±6.9                 | 3.3±0.61 |
|                               |                  | б         | 19.2±0.54                   | 29.6±3.11                | 4.6±0.34 |
| Средневозрастное генеративное | g2               | a         | 18.7±0.41                   | 76.7±4.43                | 6.9±0.28 |
|                               |                  | б         |                             |                          |          |

*Примечание:* а – зарастающие луга и разреженные дубняки, б – светлые сосняки.

нообразии вариантов ветвления у ДПС за счет различных сочетаний числа побегов, их расположения на материнской оси и силы роста в зависимости от положения. Как и у ряда других видов [5], у *Q. robur* наибольшее разнообразие побеговых систем достигается в виргинильном и отчасти в младшем генеративном состояниях. Число побегов из боковых почек на лидерных осях может достигать 15–17. Возраст особей – 10–15 лет. В конечном виргинильном состоянии ствол очищается от ветвей, образовавшихся в младшем и частично в старшем имматурном состоянии. Недолговечность первых по времени образования ветвей отмечена и в литературе [1]. Возраст особей – 13–20 лет. Переход в виргинильное состояние, по нашим наблюдениям, в целом соответствует окончанию формирования описанной И.Г. Серебряковым четко выраженной древовидной формы [1].

В младшем генеративном состоянии возрастает частота перевершиниваний скелетных ветвей, в результате чего они приобретают более ломаный рисунок. Усиливается акропетальное отмирание ветвей третьего и более высоких порядков на скелетных ветвях. Возраст особей – 12–35 лет.

В средневозрастном генеративном состоянии наблюдается уменьшение значений количественных признаков ДПС, снижается интенсивность летнего побегообразования. Ствол может замещаться несколькими осями, формирующими конструкцию в виде суженного зонтика в верхней части кроны. Процессы уменьшения и редукции особенно характерны для внутренней части кроны. Возраст особей – 35–80 лет.

Перейдем к описанию преобразования кроны у особей нормальной жизненности, произрастающих в условиях светлых сосняков.

В ювенильном состоянии нарастание неустойчиво-моноподиальное, ветвления нет. Возраст особей – 5–6 лет.

В начальном имматурном состоянии на стволе образуются акро- и мезотонные ДПС с 1–2 побегими, чередующиеся с неветвящимися ДПС. Возраст особей – 13–19 лет. В конечном имматурном состоянии особи пере-

ходят к характерному ритму ветвления, сохраняющемуся в течение всего онтогенеза. Ветви преимущественно плагиотропные, формирующие характерную этажированную крону, осложненную «вставочными» (прикрепленными под острым углом) скелетными ветвями. Возраст особей – 17–25 лет.

В начальном виргинильном состоянии с периодичностью в 5–6 лет на скелетных ветвях образуются сверхдлинные (свыше 50 см) ДПС с разным числом боковых побегов, в том числе до 12–14. На стволе наблюдается чередование неветвящихся и ветвящихся ДПС. Чередование ветвящихся и неветвящихся материнских побегов в составе оси более высокого порядка, возможно, является характерной особенностью рода *Quercus*, т.к. отмечено и у других его представителей [4]. Возраст особей – 15–40 лет. В конечном виргинильном состоянии происходит дальнейшее заполнение кроны за счет развития своего рода нависающей шапки над скелетными ветвями из ветвей третьего, четвертого и более высоких порядков. Дистальные части скелетных ветвей зачастую поникают. Ветви на стволе до высоты в 3–4 м усыхают. Принципиальные отличия в строении от младших генеративных особей часто не наблюдаются. Возраст – 30–50 лет.

В младшем генеративном состоянии отличия от конечного виргинильного состояния преимущественно морфометрические. У ряда особей отмечена высокая плотность вторичных плагиотропных ветвей на стволе с длиной обычно не более 1 м. Возраст особей – 50–70 лет.

Таким образом, при различных режимах освещения формируются отличающиеся друг от друга по структурным характеристикам скелетных ветвей и двухлетних побеговых систем варианты кроны. Морфометрические характеристики особей нормальной жизненности, произрастающих при полной освещенности на зарастающих лугах, позволяют говорить об ускоренном прохождении ими пре-генеративного периода онтогенеза.

**Выводы.** 1. Независимо от условий освещения развитие побегового тела особи про-

ходит через три основные стадии: отсутствие ветвления в ювенильном состоянии, слабо-развитые плагиотропные ветви в начальном имматурном состоянии, постоянный для данных ценологических условий ритм образования побеговых систем, начиная с конечного имматурного состояния – начального виргинильного состояния.

2. При росте в условиях полной освещенности регулярный ритм образования побеговых систем заключается в формировании большинством ДПС ствола дугообразных скелетных ветвей, преимущественно в виде псевдомутовок, при росте под пологом леса на стволе чередуются неветвящиеся ДПС и ДПС, формирующие преимущественно плагиотропные ветви, что придает кроне этажированный облик.

3. Наибольшие интенсивность ветвления (число побегов на материнскую ось) и разнообразие его вариантов отмечены при росте на открытых пространствах.

4. У особой пониженной жизненности ослабляется дифференциация между лидерной осью и скелетными ветвями, что выражается в переходе к преимущественно симподиальному нарастанию, образованию осей замещения и формированию псевдодихотомической или близкой к зонтиковидной организации кроны.

#### Литература

1. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. М., 1962. 380 с.
2. Смирнова О.В., Заугольнова Л.Б., Ермакова И.М. и др. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). М., 1976. 217 с.
3. Чистякова А.А., Заугольнова Л.Б., Полтинкина И.В. и др. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники: методические разработки для студентов биологических специальностей. М., 1989. 105 с.
4. Антонова И.С., Азова О.В., Елсукова Ю.В. Особенности строения и иерархии побеговых систем некоторых древесных растений умеренной зоны // Вестник СПбГУ. Сер. 3. 2011. Вып. 2. С. 67–77.
5. Антонова И.С., Шаровкина М.М. Некоторые особенности строения побеговых систем и развития кроны генеративных деревьев *Tilia platyphyllos* (Tiliaceae) трех возрастных состояний в условиях

умеренно-континентального климата // Ботанический журнал. 2012. Т. 97, № 9. С. 1192–1205.

6. Антонова И.С., Гниловская А.А. Побеговые системы кроны *Acer negundo* L. (Aceraceae) в разных возрастных состояниях // Ботанический журнал. 2013. Т. 98, № 1. С. 53–68.

7. Иванова А.В., Мазуренко М.Т. Варианты реализации онтогенетической траектории *Quercus robur* (Fagaceae) Самарской области // Ботанический журнал. 2013. Т. 98, № 8. С. 1014–1030.

8. Антонова И.С., Фатьянова Е.В. Форма кроны дерева и мультимасштабность побеговых систем // Современная ботаника в России: Труды XIII Съезда Русского ботанического общества, Тольятти, 16–22 сентября 2013 г. Тольятти: Кассандра, 2013. Т. 1. С. 31–33.

9. Астапова Т.Н. Рост и формирование побегов дуба в лесах Подмоскovie // Ученые записки Московского городского педагогического института им. В.П. Потемкина. 1954. Т. 37. С. 135–155.

#### References

1. Serebryakov I.G. Ecological morphology of plants. Moscow, 1962. 380 p.
2. Vorontsova L.I., Gatsuk L.E., Egorova V.N., Ermakova I.M., Zhukova L.A., Zaugolnova L.B., Kurchenko E.I., Matveev A.R., Mikhaylova T.D., Prosvirina E.A., Smirnova O.V., Toropova N.A., Falikov L.D., Shorina N.I. Plant cenopopulations (basic concepts and structure). A.A. Uranov, T.I. Serebryakova (eds.). Moscow, Nauka, 1976. 217 p.
3. Smirnova O.V., Chistyakova F.F., Zaugolnova L.B., Poltinkina I.V., Lashchinsky N.N., Kutyina I.S. Diagnoses and keys of age stages of forest plants. Trees and shrubs. Metodicheskie razrabotki dlya studentov biologicheskikh spetsialnostey. Moscow, 1989. 105 p.
4. Antonova I.S., Azova O.V., Elsukova Yu.V. Peculiar features of the architecture and hierarchy of the shoot systems in some arboreous plants of the temperate zone. Vestnik SPbGU, ser. 3, 2011, issue 2, pp. 67–77.
5. Antonova I.S., Sharovkina M.M. Some peculiar features of the architecture of the shoot structure and crown formation in generative trees *Tiliaplathyphyllos* (Tiliaceae) at three age stages under temperate continental climate conditions. Botanicheskiy zhurnal, 2012, vol. 97, no. 9, pp. 1192–1205.
6. Antonova I.S., Gnilovskaya A.A. Shoot systems of *Acer negundo* L. (Aceraceae) crown at different age stages. Botanicheskiy zhurnal, 2013, vol. 98, no. 1, pp. 53–68.
7. Ivanova A.V., Mazurenko M.T. Ontogenetic trait variations of *Quercus robur* (Fagaceae) in Samara Oblast. Botanicheskiy zhurnal, 2013, vol. 98, no. 8, pp. 1014–1030.

8. Antonova I.S., Fatyanova E.V. Tree crown shape and multi-extent of shoot systems. *Sovremennaya botanika v Rossii Trudy XIII Sezda Russkogo botanicheskogo obshchestva* (Tolyatti, September 16–22, 2013). Tolyatti, Cassandra, 2013, vol. 1, pp. 31–33.

9. Astapova T.N. Growth and formation of oak shoots in Moscow region forests. *Uchenye zapiski Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo instituta im. V.P. Potemkina*, 1954, vol. 37, pp. 135–155.



**ONTOGENETIC CROWN TRANSFORMATION OF *Quercus robur* L.  
IN COMMUNITIES WITH DIFFERENT LIGHT LEVEL**

© M.N. Stamenov

Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Sciences, RAS,  
2, ulitsa Institutskaya, 142290, Pushchino, Moscow Oblast, Russian Federation

The paper investigates the crown architecture and ontogenetic transformation in *Quercus robur* L. individuals situated in overgrowing meadows, sparse oakeries and light pine stands in the southern part of Moscow Oblast and the Kaluzhskie Zaseki Reserve (Kaluga Oblast). The individuals' age, height, diameters on the ground level and breast height, and crown radii in four directions have been measured. Quantitative parameters and variety in skeletal branches have been described for two-year shoot systems. The shape, angle of attachment and branching peculiarities have been described for skeletal branches. The trunk increment and ramification types have been determined. There are three main stages in the crown development under different light conditions: non-branching in juvenile individuals, underdeveloped plagiotropic branching in first immature individuals, typical branching in second immature and first virginile individuals. The characteristic branching type in individuals situated in the overgrowing meadows and sparse oakeries involves regularly cambered-like branches in pseudowhorls while the individuals situated in the pine stands have irregular branches forming a storey-like crown. Virginile individuals situated in the overgrowing meadows have the greatest two-year shoot systems variety. Immature individuals situated in the overgrowing meadows have depressed vitality if damaged by ungulates. Such individuals have sympodial increment with numerous axes of replacement. Depressed vitality in some shaded virginile and young generative individuals situated in the sparse oakeries consists in a lower branching intensity. In the pine stands, there are individuals with depressed and low vitality which have different variants of the pseudodichotomic or umbellate crown architecture. Biometric features in virginile and young generative individuals situated in the overgrowing meadows attest to the accelerated ontogenesis under optimal light conditions.

Key words: *Quercus robur* L., crown, ontogenesis, shoot systems, light conditions.

## АНАЛИЗ АДВЕНТИВНОГО КОМПОНЕНТА ФЛОРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ СТАНЦИЙ В ПРЕДЕЛАХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

© С.А. Хусаинова, А.Ф. Хусаинов, Л.М. Абрамова

Исследования флоры и растительности железнодорожных путей и станций Куйбышевской и Южно-Уральской железных дорог на территории Республики Башкортостан, проведенные в 2009–2014 гг., выявили в общей сложности 465 видов сосудистых растений, относящихся к 59 семействам, 257 родам сосудистых растений. Адвентивный компонент парциальной флоры железных дорог насчитывает 166 видов, объединенных в 123 рода и 37 семейств. Преобладают двудольные растения класса Magnoliopsida (145 видов – 87.3%). Среднее число видов в семействе равно 4.5, среднее число родов в семействах – 3.3. Одно- и двувидовые семейства составляют более половины (67.5%) всей флоры, а одно- и двувидовые роды составляют более 85.4% флоры железнодорожных станций РБ. К 10 ведущим семействам адвентивной флоры насыпей железнодорожных путей принадлежат 87 родов (70.7%) и 124 вида (74.7%). Участие заносных видов во флоре – 35.7%, что определяет степень ее адвентизации. Проведен анализ адвентивной флоры по следующим признакам: жизненным формам, времени и способу заноса, степени натурализации и флорогенетическому спектру. По времени заноса преобладают кенофиты (неофиты) – 120 (25.8%) (*Acer negundo*, *Berberis vulgaris*, *Lepidotheca suaveolens* и др.), археофиты составляют 46 (9.9%). Основная часть адвентов по способу иммиграции составляет группу ксенофитов (122 вида – 73.5%), по степени натурализации – эпектофиты (121 вид – 72.8%). Во флорогенетическом спектре адвентивной фракции флоры железнодорожных путей станций РБ преобладают ирано-туранские виды (54 вида – 32.5% от общего видового состава адвентов). Анализ адвентивной флоры железнодорожных путей станций РБ показал большое разнообразие по времени заноса, происхождению и натурализации. Состав адвентивных видов на железнодорожных путях РБ нестабилен, и можно ожидать заметных изменений за счет усиления экспансии агрессивных инвазивных растений, контроль за которыми крайне необходим.

Ключевые слова: флора, железнодорожные насыпи, адвентивные виды, адвентизация, флорогенетический спектр.

Исследования флоры и растительности железнодорожных путей и станций Башкирского отделения Куйбышевской и Южно-Уральской железных дорог на территории Республики Башкортостан (РБ) проводились в 2009–2014 гг. Всего было зарегистрировано 465 видов сосудистых растений, относящихся к 59 семействам, 257 родам сосудистых растений. Адвентивный компонент данной парциальной флоры насчитывает 166 видов, объединенных в 123 рода и 37 семейств.

В адвентивной фракции флоры железнодорожных путей отсутствуют сосудистые споровые (Хвощевидные, Плауновидные, Мно-

гоножковые) и Сосновые, что указывает на неблагоприятные условия среды (бедность и кислотность грунтов, недостаток влаги и т.д.).

Анализ систематического состава адвентивной флоры показал подавляющее господство двудольных растений класса Magnoliopsida (145 видов – 87.3%), слабую представленность класса Liliopsida (21 вид – 12.6%), что подтверждает правило Декандоля о снижении роли однодольных при продвижении с севера на юг, с океанических условий к континентальным [1]. В наших условиях континентальность усиливается еще и эдафическими условиями железнодорожных

ХУСАИНОВА Светлана Айратовна, Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: khusainovasa@mail.ru

ХУСАИНОВ Айрат Фагимович – к.б.н., Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, e-mail: khusainovairat@mail.ru

АБРАМОВА Лариса Михайлова – д.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: abramova\_lm@mail.ru



путей. Отношение численности однодольных и двудольных в адвентивной флоре железнодорожных путей равно 1:7.

Среднее число видов в семействе равно 4.5. Среднее число родов в семействах – 3.3. Показатель насыщенности родов относительно невысокий и составляет 1.3, что характерно для аллохтонной флоры [1].

В ходе анализа систематического состава было выявлено преобладание маловидовых семейств и родов. Так, одно-, двувидовые семейства составляют более половины (67.5%) всей флоры, а одно-, двувидовые роды составляют более 85.4% флоры железнодорожных насыпей станций РБ. Подобные соотношения свидетельствуют о значительной роли миграции в процессе флорогенеза [1]. К тому же господство ограниченного числа семейств указывает на молодость данной парциальной флоры

К 10 ведущим семействам адвентивной флоры насыпей железнодорожных путей принадлежат 87 родов (70.7%) и 124 вида (74.7%). Такое высокое число родов и видов в сравнительно небольшом количестве семейств свойственно территориям с экстремальными условиями развития растительного покрова [1]. В данном случае экстремальные условия формируются под влиянием кислого щебнистого субстрата, гербицидов, нефтепродуктов, недостатка влаги и высокой инсолируемости.

При анализе жизненных форм была использована система К. Раункиера [2]. Рассмотрение биотипического спектра показало, что в составе адвентов преобладают терофиты. На эту группу приходится 61.4% от всех видов. Преобладание растений с коротким жизненным циклом – явление закономерное для адвентивной и сорной флоры в целом и объясняется тем, что малолетники размножаются исключительно семенами. По соотношению однолетников и многолетников адвентивную флору железнодорожных путей можно отождествить с флорой областей Древнего Средиземноморья, отличающихся жарким, длительным, засушливым летом (аналогичные условия создаются на откосах железнодорожного полотна).

Среди многолетников преобладают вегетативно-подвижные виды, из которых наиболее активны корневищные и корнеотпрысковые многолетники-гемикриптофиты (27.1%). Эта группа растений хорошо приспособлена к условиям подвижного субстрата.

Невысокая доля фанерофитов (10.2%) связана с тем, что эти растения не имеют возможности произрастать на подвижных субстратах. Кроме того, деревья и кустарники ежегодно вырубаются на откосах и обочинах железных дорог при очистке их от снега и в связи с пожароопасностью, но их зачатки постоянно заносятся на данные местообитания из ближайших лесопосадок.

Низкая представленность криптофитов-геофитов (1.2% – 2 вида) объясняется тем, что почки возобновления находятся в подвижном субстрате насыпей, который создает неблагоприятные условия для их развития.

При анализе происхождения видов большой научный интерес представляет анализ времени заноса синантропных видов, способа иммиграции, степени натурализации. Для выполнения этого анализа были использованы работы В.В. Туганаева, А.Н. Пузырева [3], А.В. Чичева [4] и др.

Анализ адвентивного компонента по времени заноса выявил преобладание во флоре насыпей кенофитов (неофитов) – виды, занесенные на территорию сравнительно недавно – 120 (25.8%) видов (*Acer negundo*, *Berberis vulgaris*, *Lepidotheca suaveolens* и др.). Археофиты (появившиеся на территории Башкортостана до XVI в.) составляют 46 (9.9%) видов (*Artemisia absinthium*, *Fallopia convolvulus*, *Sonchus oleraceus* и др.).

Участие заносных видов во флоре – 35.7%, что определяет и степень ее адвентизации.

Основная часть адвентов по способу иммиграции составляет группу ксенофитов (122 вида – 73.5%) (*Amaranthus blitoides*, *Echium vulgare*, *Xanthium albinum* и др.). Для них характерен скачкообразный способ заноса и способ распространения сугубо антропохорный.

Эргазиофиты объединяют 38 видов (22.9%) (*Acer negundo*, *Helianthus annuus*, *Syringa vulgaris* и др.). Как правило, это пищевые, кор-

мовые, декоративные растения, «убежавшие» из культуры. Встречаемость их на антропогенных местообитаниях чаще всего объясняется наличием надежного источника диссеминации.

К аколитофитам относят виды, появившиеся в рассматриваемом районе естественным путем и встречающиеся на вторичных местообитаниях. Нами бесспорно установлено произрастание лишь 6 видов (3.6%), относимых к аколитофитам (*Acer negundo*, *Artemisia austriaca*, *Carduus thoermeri* и др.).

В составе адвентов железнодорожных путей по степени натурализации преобладают эпекофиты (121 вид – 72.8%) (*Amaranthus blitoides*, *Hordeum jubatum*, *Tragopogon dubius* и др.). Это растения, входящие в состав рудеральной и сегетальной растительности, являются эксплорентами [5, 6]. Они активны на стадии заселения субстрата, свободного от растительности. По мере восстановления растительности эпекофиты теряют свою ценоотическую роль, уступая место апофитам.

Наличие эфемерофитов (31 вид – 18.6%) связано с постоянным заносом семян и плодов человеком (*Berberis vulgaris*, *Helianthus annuus*, *Syringa vulgaris* и др.). Современная флора любого района из-за совершенствования дорог и увеличения количества перевозок характеризуется высоким удельным весом эргазиофитов и эфемерофитов.

Во флоре железнодорожных путей присутствует немалое количество агриофитов (14 видов – 8.4%), успевших войти в состав естественных растительных сообществ. Агриофиты имеют довольно прочные ценоотические позиции. По своему происхождению они гетерогенны – среди них имеются выходцы из Америки (*Acer negundo*, *Conyza canadensis*), из Азии (*Melilotus albus*, *Melilotus officinalis*) и из Западной Европы (*Nonea pulla*).

Флорогенетический анализ адвентивной флоры был проведен с использованием работ Н. Meusel et al. [7], В.В. Туганаева, А.П. Пузырева [3]. При выявлении флорогенетических центров мы опирались на систему флористических областей А.Л. Тахтаджяна [8].

Во флорогенетическом спектре адвентивной фракции флоры железнодорожных путей

станций РБ преобладают ирано-туранские виды (54 вида – 32.5% от общего видового состава адвентов), это такие виды, как *Artemisia absinthium*, *Fallopia convolvulus*, *Melilotus officinalis* и др. Второе место занимают средиземноморские виды (39 видов – 23.6%): *Echium vulgare*, *Onopordum acanthium*, *Sonchus oleraceus*, *Senecio vulgaris* и др. Высокое участие ирано-туранских и средиземноморских видов объясняется наличием торговых путей с этими районами.

Третье место занимают североамериканские виды (23 вида – 13.8%), это такие виды, как *Acer negundo*, *Amaranthus retroflexus*, *Lepidotheca suaveolens* и др., большое число которых в данной парциальной флоре связано с зональной приуроченностью и интенсивными грузоперевозками [9].

В целом флорогенетический спектр адвентивной фракции флоры подчеркивает более южное происхождение адвентивной флоры железнодорожных насыпей.

Во флоре исследуемой территории зарегистрированы новые для Республики Башкортостан виды и местообитания – *Ambrosia trifida*, *Cyclachaena xanthiifolia*, *Oenothera oakesiana*, *Oenothera biennis*, *Phalacrolooma strigosum*, *Senecio viscosus*, *Eragrostis minor*, *Eragrostis pilosa* и др. [10].

Таким образом, анализ адвентивной флоры железнодорожных путей станций РБ показал большое разнообразие адвентов по времени заноса, происхождению и натурализации. Авторы считают, что состав адвентивных видов на железнодорожных путях РБ еще не стабилен и в будущем можно ожидать заметных изменений за счет усиления экспансии агрессивных инвазивных растений, способных успешно акклиматизироваться в наших условиях. Среди них имеются виды, находящиеся в процессе своего активного расселения, и контроль за ними крайне необходим. Результаты исследования адвентов железнодорожных путей позволят использовать данные о составе флоры для мониторинга состояния окружающей среды и создать предпосылки для решения экологических проблем на транспортных магистралях Южного Урала.

ЛИТЕРАТУРА

References

1. Толмачев Ф.И. Введение в географию растений. Л.: Изд-во Ленингр. гос. ун-та, 1974. 244 с.
2. Raunkiaer C. The leaf forms of plants and statistical plant geography. Oxford: Clarendonpress, 1934. 632 p.
3. Туганаев В.В., Пузырев А.Н. Гемерофиты Вятско-Камского междуречья. Свердловск: Изд-во Уральск. ун-та, 1988. 128 с.
4. Чичев А.В. Синантропная флора города Пушкино // Экология малого города. Пушкино, 1981. С. 18–41.
5. Работнов Т.А. Фитоценология. М., 1978. 384 с.
6. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа, 1998. 413 с.
7. Meusel H., Jager E., Weinert E. Vergleichendehorologie der Zentraleuropaischen Flora. Teil 1. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. 1965. 583 S.
8. Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли. Л.: Наука, 1978. 248 с.
9. Тохтарь В.К. Флорогенетические процессы на железных дорогах // Тр. 4 молод. конф. ботаников (С.-Петербург, май 1992 г.) СПб., 1993. С. 164–168.
10. Мулдашев А.А., Хусаинова С.А., Хусаинов А.Ф. Новые находки адвентивных растений в Республике Башкортостан // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 1. С. 69–73.

1. Tolmachev F.I. Introduction to plant geography. Leningrad, Izdatelstvo Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta, 1974. 244 p.
2. Raunkiaer C. The leaf forms of plants and statistical plant geography. Oxford, Clarendonpress, 1934. 632 p.
3. Tuganaev V.V., Puzyrev A.N. Hemerophytes of the Vyatka-Kama interfluve. Sverdlovsk, Izdatelstvo Uralskogo universiteta, 1988. 128 p.
4. Chichev A.V. Synanthropic flora of the town of Pushchino. Ekologiya malogo goroda Pushchino, 1981, pp. 18–41.
5. Rabotnov T.A. Phytocoenology. Moscow, 1978. 384 p.
6. Mirkin B.M., Naumova L.G. Plant science (history and current state of major concepts). Ufa, 1998. 413 p.
7. Meusel H., Jager E., Weinert E. Vergleichendehorologie der Zentraleuropaischen Flora. Teil 1. Jena, VEB Gustav Fischer Verlag, 1965. 583 s.
8. Takhtadzhyan A.L. Floristic regions of the Earth. Leningrad, Nauka, 1978. 248 p.
9. Tokhtar V.K. Florogenetic processes on railroads. Trudy 4 molodezhnoy konferentsii botanikov (St. Petersburg, May 1992). St. Petersburg, 1993, pp. 164–168.
10. Muldashev A.A., Khusainova S.A., Khusainov A.F. New findings of adventive plants in the Republic of Bashkortostan. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2014, vol. 16, no. 1, pp. 69–73.

ANALYSIS OF THE ADVENTIVE COMPONENT OF THE FLORA ON THE RAILWAY STATION EMBANKMENTS IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

© S.A. Khusainova<sup>1, 2</sup>, A.F. Khusainov<sup>2</sup>, L.M. Abramova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup> Akmullah Bashkir State Pedagogical University,  
3a, ulitsa Oktyabrskoy Revolutsii, 450001, Ufa, Russian Federation

Our research on the flora and vegetation of railway tracks and stations of the Kuibyshev and South Urals railroads in the Republic of Bashkortostan carried out between 2009 and 2014 revealed a total of 465 vascular plant species relating to 59 families and 257 genera. The adventive component of the partial flora on railroads totals 166 species united in 123 genera and 37 families. Dicotyledonous plants of the class *Magnoliopsida* prevail (145 species, 87.3%). The average number of species in a family is 4.5, and the average number of genera in a family is 3.3. One and two-specific families make more than a half (67.5%), and one and two-specific genera make more than 85.4% of the flora at the railway stations in Bashkortostan. Eight seven genera (70.7%) and 124 species (74.7%) belong to 10 leading families of the adventive flora on the railway embankments. Participation of invasive species in the flora is 35.7% defining the degree of its adventization. Analysis of the adventive flora was carried out by the following criteria: vital forms, time and way of invasion, degree of naturalization and florogenetic spectrum. Kenophytes (neophytes) prevail by the time of invasion (120 species, 25.8%). These are *Acer negundo*, *Berberis vulgaris*, *Lepidotheca suaveolens*, etc. Arheophytes contain 46 species (9.9%). The main group of aliens according to the way of immigration and the degree of naturalization consists of, respectively, xenophytes (122 species, 73.5%) and epekophytes (121 species, 72.8%). Irano-Turanian species prevail in the florogenetic spectrum of the adventive fraction on the railway station tracks in Bashkortostan (54 species, 32.5% of the total specific structure of the aliens). Analysis of the adventive flora on the railway station tracks in Bashkortostan showed its considerable variety according to the time of invasion, origin and naturalization. The specific structure of the adventive flora is very unstable, and one can expect noticeable changes due to increasing expansion of aggressive invasive plants that necessitates thorough control.

Key words: flora, railway embankments, adventive species, adventization, florogenetic spectrum.

**ОРДИНАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЫСОКОГОРНЫХ ТРАВЯНЫХ СООБЩЕСТВ  
СОЧИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА**

© А.В. Суворов, М.В. Лебедева, С.М. Ямалов

Сочинский национальный парк (СНП) расположен в Северо-Западной части Кавказа. Растительность парка представлена в основном лесами. На вершинах гор и хребтов, выше 1600 м над у.м. распространены субальпийские и альпийские травяные сообщества. Травяная растительность СНП остается слабо изученной. Авторами поставлена цель выполнить анализ разнообразия травяных сообществ СНП на основе материала (74 геоботанических описания), собранного в ходе геоботанического обследования основных горных вершин СНП в 2012–2015 гг. Экологический анализ закономерностей распределения травяной растительности проведен с использованием непрямой ординации (ДСА-анализ). В пространстве первых двух осей ординации, представляющих главные экологические факторы, описания образовали пять групп. В группу I вошли низкотравные альпийские сообщества, распространенные на высотах 2156–2618 м над у.м., на хребте Аигба, реже на хребте Аишхо, преимущественно на склонах юго-западных экспозиций с каменистостью субстрата до 40%. Сообщества дифференцируются по видам: *Geranium gymnocaulon*, *Pulsatilla aurea* и др. Наиболее богатовидовые сообщества высокогорных субальпийских лугов пастбищного использования объединены в группу II. Сообщества этой группы распространены на хребтах Аигба и Аишхо на высотах от 1885 до 2542 м над у.м. и характеризуются высоким постоянством и обилием *Stachys macrantha*. В группу III вошли субальпийские поляны, распространенные в диапазоне высот 1690–1764 м над у.м. преимущественно на склонах юго-западных экспозиций хребта Ачишхо в районе озер Хмелевского. Сообщества приурочены к наиболее влажным местообитаниям и дифференцируются по видам: *Carex cinerea*, *Cirsium simplex* и др. В группу IV объединены описания сообществ лугов, распространенных в диапазоне высот 1318–1631 м над у.м. на склонах южных экспозиций участка Главного Кавказского хребта от перевала Грачевского до скалы Хожаш. Каменистость субстрата местообитаний сообществ может достигать 30%. Сообщества дифференцируются по видам: *Ranunculus montanus*, *Stachys macrantha* и др. Наиболее бедновидовые сообщества района исследований объединены в группу V. Сообщества приурочены к южным склонам горы Семиглавая в диапазоне высот 1339–1400 м над у.м. Сообщества дифференцируются по видам: *Calamagrostis phragmitoides*, *Geranium columbinum* и др. Результаты ординации показывают, что главными факторами организации травяных сообществ парка являются широтный и высотный градиенты.

Ключевые слова: Сочинский национальный парк, травяная растительность, ДСА-ординация, экологические факторы.

Сочинский национальный парк (СНП) расположен в Северо-Западной части Кавказа, занимает площадь 191.3 тыс. га (1 937.37 км<sup>2</sup>). Растительность парка представлена в основном лесами, а на вершинах гор и хребтов, приблизительно с 1600 м над уровнем моря, широко распространены субальпийские и альпийские травяные сообщества. Травяная растительность СНП остается слабо изученной. Работы, в которых анализируются полные списки фитоценозов, единичны [1].

В данной работе авторами поставлена цель выполнить анализ разнообразия травяных сообществ СНП на основе материала, собранного в ходе геоботанического обследования основных горных вершин СНП.

Климат территории исследования однороден. Разнообразие физико-географических условий обусловило микроклиматические особенности ландшафтов. Так, регион среднегорного рельефа (600–1800 м) характе-

СУВОРОВ Александр Владимирович, Сочинский национальный парк, e-mail: suvoroff.aleksander@yandex.ru  
ЛЕБЕДЕВА Мария Владимировна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН,  
e-mail: lebedevamv@mail.ru

ЯМАЛОВ Сергей Маратович – д.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН,  
e-mail: yamalovsm@mail.ru

ризуется теплым летом и относительно мягкой зимой. Постоянный снежный покров держится в среднем 90 дней, при этом на северном склоне снег может держаться на 10–30 дней больше, с глубиной залегания в среднем 80 см. Средняя многолетняя температура высокогорного рельефа (выше 1800 м над у. м.) составляет 3.9°C и влажность воздуха 75%. В этом регионе самая низкая изменчивость температуры. Здесь преобладают твердые осадки, в отдельных местах снег лежит круглый год, где-то более полугода, среднегодовая скорость ветра составляет 2.1 м/с [1]. Благодаря ветровому режиму, сложившемуся на вершинах Черноморской цепи Главного Кавказского хребта, включая г. Семиглавая (1445), Хожаш (1598), Хакудж (1631), пер. Грачевского (1288), граница леса здесь опускается по-

чти на 1300 м над у. м., при нормальных же условиях граница леса с субальпийскими лугами находится в пределах около 1800 м над у. м.

В основу работы положено 245 геоботанических описаний травяной растительности, выполненных А.В. Суворовым в период полевых сезонов 2012–2015 гг. на территории СНП: хр. Аибга, г. Аишко I, Черноморская цепь Главного Кавказского хребта (пер. Грачевского, г. Хакудж, Бекишей, Хожаш, Семиглавая). Геоботанические описания выполнялись на площадках размером 10×10 м. Участие видов в растительном покрове оценивалось по шкале Браун–Бланке: г – вид на площадке встречен в единичных экземплярах; + – вид имеет проективное покрытие до 1%; 1 – вид имеет проективное покрытие от 1 до 5%; 2 – от 5 до 25%; 3 – от 25 до 50%; 4 – от 50 до 75%; 5 – выше 75%.

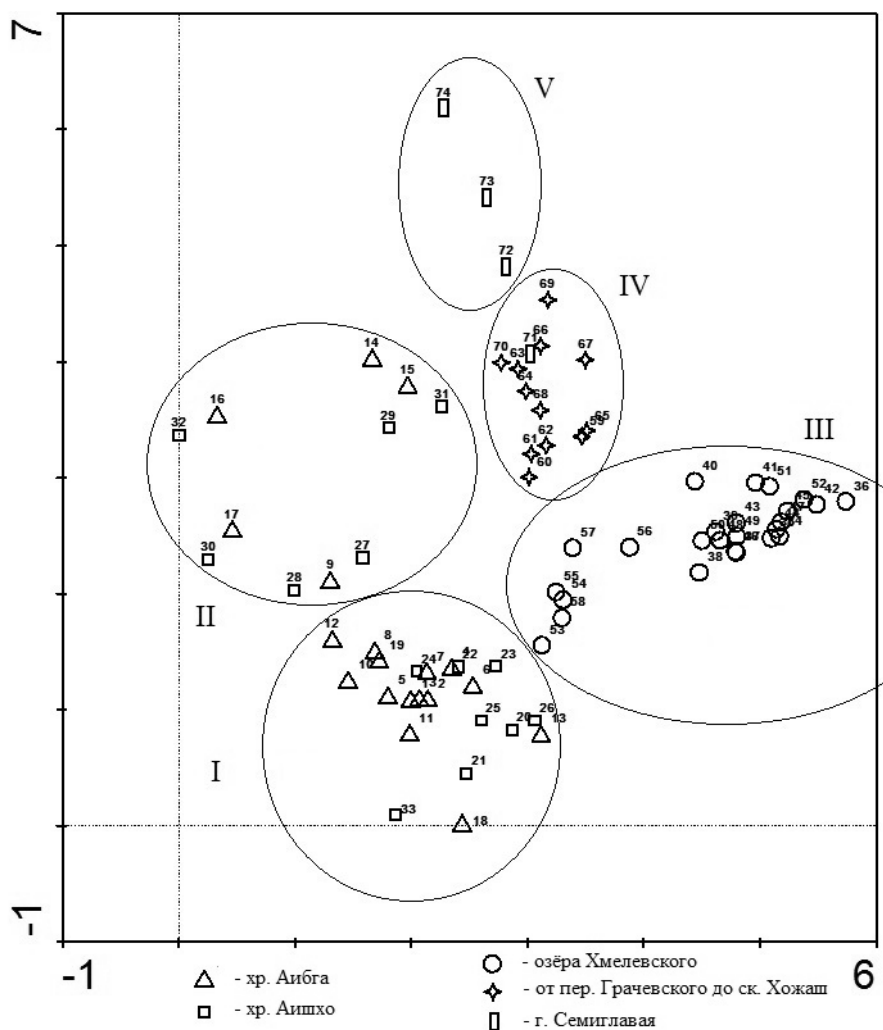


Рис. Распределение геоботанических описаний травяных сообществ СНП в пространстве двух главных осей DCA-ординации. Арабскими цифрами обозначены номера описаний, римскими – номера групп описаний

Синтетические характеристики сообществ разных ординационных групп

| Характеристика |      | Видовая насыщенность (число видов на 100 кв м.) | Общее проективное покрытие, % | Высота над у.м. | Крутизна склона, град. | Высота травостоя сред., см | Каменистость субстрата, % |
|----------------|------|---|-------------------------------|-----------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|
| № группы       |      |   |                               |                 |                        |                            |                           |
| I              | max  | 30  | 100                           | 2618            | 35                     | 50                         | 40                        |
|                | min  | 8   | 90                            | 2156            | 5                      | 5                          | 0                         |
|                | сред | 17  | 94                            | 2392            | 20                     | 22                         | 3                         |
| II             | max  | 54  | 100                           | 2542            | 35                     | 170                        | 10                        |
|                | min  | 6   | 90                            | 1885            | 5                      | 10                         | 0                         |
|                | сред | 24  | 98                            | 2215            | 23                     | 73                         | 1                         |
| III            | max  | 22  | 100                           | 1764            | 30                     | 90                         | 0                         |
|                | min  | 9   | 80                            | 1690            | 0                      | 15                         | 0                         |
|                | сред | 14  | 95                            | 1735            | 12                     | 31                         | 0                         |
| IV             | max  | 19  | 100                           | 1631            | 60                     | 70                         | 30                        |
|                | min  | 7   | 80                            | 1318            | 0                      | 19                         | 0                         |
|                | сред | 15  | 97                            | 1481            | 21                     | 35                         | 4                         |
| V              | max  | 9   | 100                           | 1400            | 27                     | 60                         | 0                         |
|                | min  | 6   | 100                           | 1339            | 10                     | 50                         | 0                         |
|                | сред | 8   | 100                           | 1372            | 21                     | 55                         | 0                         |

При определении видов использовались флористические сводки и определители [2–5]. Для экологического анализа закономерностей распределения травяной растительности, реализованного в пакете программ CANOCO 4.5, использовалась непрямая ординация методом Detrended correspondence analysis (DCA-ординация) [6].

Результаты ординационного анализа геоботанических описаний травяных сообществ показаны на рис.

Из рис. видно, что в пространстве первых двух осей ординации, представляющих главные экологические факторы, описания образовали 4 группы. Характеристика сообществ выделенных групп показана в табл. 1.

В группу I вошли низкотравные альпийские сообщества, распространенные на высотах 2156–2618 м над у. м., преимущественно на склонах юго-западных экспозиций с каменистостью субстрата до 40%. Сообщества этой группы распространены на хр. Аибга, реже – на хр. Аишхо. Сообщества дифференцируются по видам: *Geranium gymnocaulon*, *Pulsatilla aurea* и др. (табл. 2).

Наиболее богатовидовые сообщества высокогорных субальпийских лугов пастбищного использования объединены во II груп-

пу. Сообщества этой группы распространены на хребтах Аибга и Аишхо на высотах от 1885 до 2542 м над у. м. Сообщества дифференцируются по видам: *Stachys macrantha* и др.

В группу III вошли субальпийские поляны, распространенные в диапазоне высот 1690–1764 м над у. м., преимущественно на склонах юго-западных экспозиций хребта Ачишхо в районе озер Хмелевского. Сообщества приурочены к наиболее влажным местообитаниям и дифференцируются по видам: *Carex cinerea*, *Cirsium simplex* и др.

В группу IV объединены описания сообществ лугов, распространенных в диапазоне высот 1318–1631 м над у. м. на склонах южных экспозиций участка Главного Кавказского хребта от перевала Грачевского до скалы Хожаш. Каменистость субстрата обследованной территории может достигать 30%. Сообщества дифференцируются по видам: *Poa pratensis*, *Ranunculus montanus*, *Stachys macrantha* и др.

Наиболее бедновидовые сообщества района исследований объединены в группу V. Сообщества приурочены к южным склонам г. Семиглавая в диапазоне высот 1339–1400 м над у. м. Сообщества дифференцируются по

видам: *Calamagrostis phragmitoides*, *Geranium columbinum*, *Potentilla erecta* и др.

Таким образом, ординационный анализ объединил травяные сообщества СНП в пять групп, различающиеся, главным образом, по широтному и высотному градиенту. Кроме

того, сообщества дифференцируются по видовой насыщенности, высоте травостоя, увлажнению и степени каменистости субстрата.

Авторы выражают благодарность доктору биологических наук, профессору, заслуженному экологу РФ Борису Сакоевичу Туние-

Т а б л и ц а 2

Флористическая дифференциация ординационных групп

| Группы                             | I                 | II                | III               | IV                | V                 |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Число описаний                     | 22                | 11                | 25                | 13                | 3                 |
| Виды, характерные для I группы     |                   |                   |                   |                   |                   |
| <i>Hedysarum caucasicum</i>        | III               |                   |                   |                   |                   |
| <i>Myosotis alpestris</i>          | III               |                   |                   |                   |                   |
| <i>Primula amoena</i>              | IV <sup>1-4</sup> |                   |                   |                   |                   |
| <i>Pulsatilla aurea</i>            | IV <sup>1-3</sup> |                   |                   |                   |                   |
| <i>Luzula sudetica</i>             | III               |                   |                   |                   |                   |
| <i>Chaerophyllum roseum</i>        | III               |                   |                   |                   |                   |
| Виды, характерные для II группы    |                   |                   |                   |                   |                   |
| <i>Oberna behen</i>                |                   | III               |                   |                   |                   |
| <i>Bistorta major</i>              |                   | III               |                   |                   |                   |
| <i>Aquilegia olympica</i>          |                   | III               |                   |                   |                   |
| <i>Astrantia maxima</i>            |                   | III               |                   |                   |                   |
| <i>Cephalaria gigantea</i>         |                   | III               |                   |                   |                   |
| <i>Euphorbia macroceras</i>        |                   | III               |                   |                   |                   |
| <i>Rumex alpinus</i>               |                   | III               |                   |                   |                   |
| Виды, характерные для III группы   |                   |                   |                   |                   |                   |
| <i>Gentiana septemfida</i>         |                   |                   | III               |                   |                   |
| <i>Nardus stricta</i>              |                   |                   | III               |                   |                   |
| <i>Geranium sylvaticum</i>         |                   |                   | IV <sup>1-4</sup> |                   |                   |
| <i>Cirsium simplex</i>             |                   |                   | IV <sup>1-3</sup> |                   |                   |
| <i>Leontodon hispidus</i>          |                   |                   | III               |                   |                   |
| <i>Trifolium canescens</i>         |                   |                   | III               |                   |                   |
| <i>Carex cinerea</i>               |                   |                   | IV <sup>1-5</sup> |                   |                   |
| <i>Crocus vallicola</i>            |                   |                   | III               |                   |                   |
| Виды, характерные для IV группы    |                   |                   |                   |                   |                   |
| <i>Veratrum album</i>              |                   |                   |                   | III               |                   |
| <i>Hieracium species</i>           |                   |                   |                   | III               |                   |
| <i>Poa pratensis</i>               |                   |                   |                   | V <sup>1-5</sup>  |                   |
| <i>Ranunculus montanus</i>         |                   |                   |                   | IV <sup>1-3</sup> |                   |
| <i>Dichodon cerastoides</i>        |                   |                   |                   | III               |                   |
| Виды, характерные для V группы     |                   |                   |                   |                   |                   |
| <i>Potentilla erecta</i>           |                   |                   |                   |                   | IV <sup>1-3</sup> |
| <i>Pastinaca aurantiaca</i>        |                   |                   |                   |                   | IV <sup>1-2</sup> |
| <i>Chamaecytisus hirsutus</i>      |                   |                   |                   |                   | IV <sup>1-3</sup> |
| <i>Geranium columbinum</i>         |                   |                   |                   |                   | IV <sup>1-3</sup> |
| <i>Inula salicina</i>              |                   |                   |                   |                   | IV <sup>1-3</sup> |
| <i>Centaurea cyanus</i>            |                   |                   |                   |                   | IV <sup>1</sup>   |
| <i>Stachys officinalis</i>         |                   |                   |                   |                   | IV <sup>1-2</sup> |
| Виды, характерные для всех групп   |                   |                   |                   |                   |                   |
| <i>Calamagrostis phragmitoides</i> | 0                 | III               | 0                 | II                | V <sup>2-5</sup>  |
| <i>Stachys macrantha</i>           | I                 | IV <sup>1-3</sup> | II                | V <sup>1-3</sup>  | 0                 |
| <i>Nardus stricta</i>              | II                | 0                 | III               | III               | 0                 |
| <i>Anemonastrum fasciculatum</i>   | III               | III               | 0                 | II                | 0                 |
| <i>Geranium gymnocaulon</i>        | IV <sup>1-5</sup> | III               | II                | 0                 | 0                 |
| <i>Veronica gentianoides</i>       | III               | II                | IV <sup>1-3</sup> | II                | 0                 |

ву за помощь в организации полевых исследований и определении видов сосудистых растений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-34-50026 мол\_нр

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инвентаризация основных таксономических групп и сообществ, созологические исследования Сочинского национального парка – первые итоги первого в России национального парка: монография / под ред. Б.С. Туниева. М., 2006. 304 с.
2. Косенко И.С. Определитель высших растений Северо-западного Кавказа и Предкавказья. М., 1970. 614 с.
3. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Определитель: в 3 т. / под ред. С.К. Черепанова. Т. 1. Ростов н/Д, 1978. 320 с.; Т. 2. Ростов н/Д, 1980. 352 с.; Т. 3. Ростов-н/Д, 1980. 328 с.
4. Зернов А.С. Растения Российского Западного Кавказа. Полевой атлас. М., 2010. 448 с.
5. Зернов А.С. Иллюстрированная флора юга Российского Причерноморья. М., 2013. 588 с.
6. TerBraak, C.J.F., šmilauer P. Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for

Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA, 2002. 500 p.

#### References

1. Inventory of major taxonomic groups and communities, sozologic research in the Sochi National Park. First results of the first national park in Russia. Monograph. B.S. Tuniev (ed.). Moscow, 2006. 304 p.
2. Kosenko I.S. Identification book on higher plants of the north-western Caucasus and Cis-Caucasus. Moscow. 1970. 614 p.
3. Galushko A.I. Flora of the North Caucasus. Identification book. In 3 volumes. S.K. Cherepanov (ed.). Vol. 1. Rostov-on-Don, 1978. 320 p.; Vol. 2. Rostov-on-Don, 1980. 352 p.; Vol. 3. Rostov-on-Don, 1980. 328 p.
4. Zernov A.S. Plants of the Russian West Caucasus. Field atlas. Moscow, 2010. 448 p.
5. Zernov A.S. Illustrated flora of the southern Russian Black Sea Coast. Moscow, 2013. 588 p.
6. TerBraak, C.J.F., šmilauer P. Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA, 2002. 500 p.

## ORDINATION ANALYSIS OF ALPINE GRASS COMMUNITIES IN THE SOCHI NATIONAL PARK

© A.V. Suvorov<sup>1</sup>, M.V. Lebedeva<sup>2</sup>, S.M. Yamalov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sochi National Park, Esto-Sadok, Adlersky rayon, 354392, Sochi, Russian Federation

<sup>2</sup>Botanical Garden-Institute Ufa, Scientific Centre, RAS,  
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

The Sochi National Park (SNP) is situated in the northwestern Caucasus. The vegetation in the park is represented mainly by forest associations. Subalpine and alpine herbaceous communities occupy the tops of mountains and ridges 1600 m and more above sea-level. Grass vegetation of the SNP still remains poorly studied. The authors' aim is to perform analysis of the diversity of grass communities in the SNP on the basis of the material (74 geobotanical releves) collected during the 2012–2015 geobotanical survey of major mountain tops in the SNP. Ecological analysis of herbaceous plant distribution is performed using the detrended correspondence analysis (DCA ordination). The releves divide in 5 groups within the space of the first two ordination axes representing basic environmental factors. Group I includes short-grass alpine communities growing on the Aigba and less frequently Aishkho Ridges at a height of 2156 to 2618 m above sea-level. They are located primarily on southwest-facing slopes with substrate rockiness up to 40%. The communities are differentiated on the species basis: *Geranium gymnocaulon*, *Pulsatilla aurea*, etc. Group 2 includes the most species-rich communities of pasturable long-grass subalpine meadows. They grow on the Aibga and Aishkho Ridges at a height of 1885 to 2542 m above sea-level and are characterized by highly constant and abundant *Stachys macrantha*. Group 3 includes subalpine glades found at a height of 1690 to 1764 m above sea-level, primarily on southwest-facing slopes of the Achishkho Ridge near Khmelevsky Lakes. The communities occupy the wettest habitats and are differentiated on the species basis: *Carex cinerea*, *Cirsium simplex*, etc. Group 4 includes meadow communities growing at a height of 1318 to 1631 m above sea-level. They are located on south-facing slopes of the Greater Caucasus Ridge, between Grachevsky Pass and Hozhash Rock. Substrate rockiness in the community habitats can reach 30%. The communities are differentiated on the species basis: *Ranunculus montanus*, *Stachys macrantha*, etc. Group 5 includes the most species-poor communities in the area under study. The communities are confined to the southern slopes of Mount Semiglavaya at a height of 1339 to 1400 m above sea-level. They are differentiated on the species basis: *Calamagrostis phragmitoides*, *Geranium columbinum*. Thus, ordination analysis shows that latitude and altitude gradients are the basic factors for classifying herbaceous communities in the SNP.

Key words: Sochi National Park, herbaceous vegetation, DCA ordination, environmental factors.



## ВЛИЯНИЕ КОНКУРЕНЦИИ И ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ ИНГИБИТОРОМ РЕЦЕПТОРОВ ЭТИЛЕНА НА РОСТ РАСТЕНИЙ САЛАТА И СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ГОРМОНОВ

© Л.Б. Высоцкая, Т.Н. Архипова, Г.Р. Кудоярова

Была изучена роль таких гормонов, как ауксин (ИУК), абсцизовая кислоты (АБК), этилен, цитокинины (ЦК), а также их взаимовлияние в регуляции ростовой реакции на изменение плотности посадки растений. Исследования проводили с недельными растениями салата *Lactuca sativa* L., высаженными по одному и по три (конкурирующие) в один вегетационный сосуд. Содержание гормонов ИУК, АБК и ЦК определяли с помощью иммуноферментного анализа. Роль этилена в реакции растений на присутствие соседей оценивали с помощью ингибитора рецепторов этилена 1-метилциклопропена (МЦП). У конкурирующих растений салата через пять дней после пересадки, когда они еще не испытывали недостаток ресурсов, нами было обнаружено снижение массы побега и корня. Потеря растениями чувствительности к этилену в результате обработки МЦП, в условиях конкуренции еще больше ингибировала рост корня, а также предотвращала увеличение показателя соотношения площади листьев к их массе, которое наблюдали у чувствительных к этилену растений салата. Этот показатель считают одним из важных физиологических ответов в адаптации растений к низкой интенсивности света. Поскольку в наших опытах в этот отрезок времени чувствительные к этилену конкурирующие растения еще не затеняли друг друга, это говорит о том, что растения воспринимали какие-то сигналы о предстоящем затенении. Изменение ростового ответа при конкуренции, наблюдаемое у МЦП-обработанных растений салата, подчеркивает важность этилена в таком сигналинге. Обнаруженное накопление АБК в побегах, также как и снижение содержания ауксинов в корнях, вероятно, вносят свой вклад в торможение роста побегов и корней растений, выращенных в присутствии соседей. Важность изменений концентрации гормонов была подтверждена данными о том, что нарушение распределения ауксина и цитокининов, обнаруженное в обработанных МЦП нечувствительных к этилену растениях, сопровождалось соответствующими изменениями в росте.

Ключевые слова: салат, конкуренция, рост, ауксины, чувствительность к этилену, абсцизовая кислота, цитокинины.

Растения реагируют на присутствие растущих рядом растений (соседей, конкурентов) изменением скорости роста, что обусловлено необходимостью делить ограниченные ресурсы (свет, питательные вещества, вода и др.). Растения могут предвидеть возможные будущие ухудшения условий благодаря детекции дальнего красного света, отраженного от соседних растений. Изменение роста растений в ответ на присутствие соседей носит адаптивный характер и повышает конкурентоспособность растений, но при этом снижа-

ется их продуктивность в с/х посевах [1]. Понимание механизмов регуляции реакции растений на увеличение плотности посева может способствовать повышению эффективности возделывания культур путем коррекции оптимальной плотности посадки.

Фитогормоны, как известно, участвуют в регуляции роста растений в ответ на внутренние и внешние сигналы. Например, растения чувствуют изменение качества света при увеличении плотности произрастания через фоторецепторы фитохрома, которые

ВЫСОЦКАЯ Лидия Борисовна – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: vysotskaya@anrb.ru  
АРХИПОВА Татьяна Николаевна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: arhipova@anrb.ru  
КУДОЯРОВА Гюзель Радомесовна – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: guzel@anrb.ru

индуцируют каскады сигнальной цепи с обязательным участием ауксина [2]. Отмечается важная роль газообразного растительного гормона этилена [1]. Есть данные об отсутствии закрытия устьиц при конкуренции у дефицитных по абсцизовой кислоте (АБК) мутантов томата *flacca* [3]. Эксперименты с *ipt*-трансгенными растениями табака и обработкой салата цитокинин-продуцирующими ризосферными бактериями указывают также на участие цитокининов в ростовой реакции на присутствие соседей [4]. Тем не менее последние данные свидетельствуют о том, что гормоны именно в комплексе регулируют эти приспособления путем интеграции входящих внешних сигналов в сложную сигнальную цепь [5]. В соответствии с этим целью настоящего исследования было выяснение участия ауксинов, абсцизовой кислоты, этилена и цитокининов и их взаимодействия в регуляции ростовой реакции на изменение плотности посадки растений салата.

**Объекты и методы исследований.**

Семена салата *Lactuca sativa* L. проращивали в контейнере с почвой, пересаживали (по 1 или по 3 растения) в горшки (0.2 л) с песком, насыщенным питательным раствором Хогланда–Арнона, и помещали в климатическую камеру: 230 мкмоль/(м<sup>2</sup>с) ФАР, 14 ч световой период, температура 23/18°C (день/ночь). Через 2 дня после пересадки часть растений обрабатывали 1-метилциклопропеном (МЦП). Для этого использовали препарат «Invinsa» (Spring House PA, США),

из которого образуется МЦП в результате взаимодействия с водой при его разбавлении (0.1 г/л) в 0.05% (о/о) растворе смачивающего агента (Silwett L-77, Великобритания). По данным литературы, одной обработки МЦП достаточно для предотвращения связывания этилена с его рецепторами, по крайней мере, в течение одного месяца [6]. Содержание гормонов определяли в побегах и корнях растений салата через два дня после обработки МЦП по ранее подробно описанному иммуноферментному методу после экстракции этанолом [7].

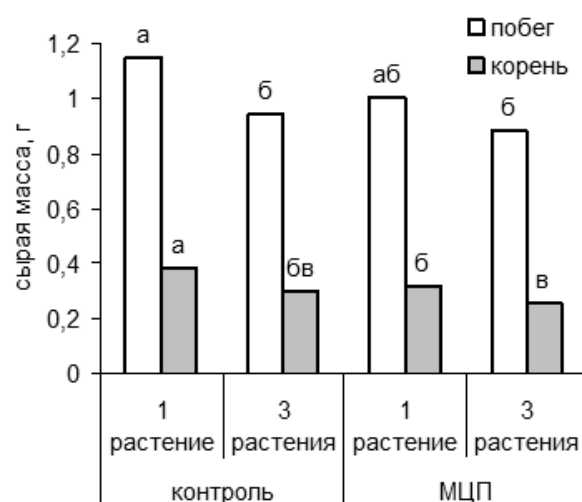


Рис. 1. Сырая масса побегов и корней одиночно растущих (1 растение/горшок) и сгруппированных (растущих по 3 в горшке) растений салата спустя 5 дней после обработки МЦП. Статистически различающиеся значения для побега и для корня обозначены разными буквами ( $n=48$ ,  $p < 0.05$ , двухфакторный ANOVA, LSD test)

Т а б л и ц а 1

*Площадь листьев, отношение площади листьев к их массе (specific leaf area, SLA) и транспирация одиночно растущих (1 растение в горшке) и сгруппированных (растущих по 3 в горшке) растений салата через 5 дней после обработки 1-метилциклопропеном (МЦП).*

*Статистически различающиеся значения для каждого из показателей обозначены разными буквами ( $n=48$ ,  $p < 0.05$ , двухфакторный ANOVA, LSD test)*

| Вариант опыта            | Количество растений | Площадь листьев, см <sup>2</sup> | Площадь листьев/сырая масса (SLA), см <sup>2</sup> г <sup>-1</sup> | Транспирация, ммоль м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> |
|--------------------------|---------------------|----------------------------------|--|---|
| Контроль (без обработки) | 1 растение          | 63.75 <sup>a</sup>               | 22.3 <sup>o</sup>  | 1 <sup>a</sup>                                      |
|                          | 3 растения          | 60.14 <sup>a</sup>               | 25.5 <sup>a</sup>  | 0.7 <sup>o</sup>                                    |
| Обработка МЦП            | 1 растение          | 61.28 <sup>a</sup>               | 24.5 <sup>ao</sup>   | 0.95 <sup>a</sup>                                   |
|                          | 3 растения          | 50.11 <sup>o</sup>               | 22.7 <sup>o</sup>  | 0.65 <sup>o</sup>                                   |

Содержание гормонов в побегах и корнях (пмоль/орган) и соотношение побег/корень (п/к) в контрольных и обработанных МЦП растениях салата, выращенных по одному и по три растения в сосуде. Результаты представлены как среднее  $\pm$  ошибка ( $n=9$ ) из трех экспериментов.

Статистически различающиеся значения отношения содержания в побегах и корнях для каждого гормона обозначены разными буквами ( $p < 0.05$ , двухфакторный ANOVA, LSD test)

| Вариант опыта            | Кол-во растений | Цитокинины (З+ЗР+ЗН) |            |                  | Ауксины      |            |                   | АБК          |              |                  |
|--------------------------|-----------------|----------------------|------------|------------------|--------------|------------|-------------------|--------------|--------------|------------------|
|                          |                 | побег                | корень     | п/к              | побег        | корень     | п/к               | побег        | корень       | п/к              |
| Контроль (без обработки) | 1               | 43 $\pm$ 3           | 21 $\pm$ 2 | 2.0 <sup>o</sup> | 93 $\pm$ 11  | 65 $\pm$ 7 | 1.4 <sup>a</sup>  | 306 $\pm$ 31 | 222 $\pm$ 24 | 1.4 <sup>a</sup> |
|                          | 3               | 31 $\pm$ 3           | 11 $\pm$ 2 | 2.8 <sup>b</sup> | 233 $\pm$ 25 | 22 $\pm$ 2 | 10.6 <sup>o</sup> | 371 $\pm$ 40 | 79 $\pm$ 8   | 4.7 <sup>o</sup> |
| Обработка МЦП            | 1               | 47 $\pm$ 4           | 22 $\pm$ 3 | 2.1 <sup>o</sup> | 340 $\pm$ 41 | 29 $\pm$ 3 | 12.0 <sup>o</sup> | 318 $\pm$ 33 | 161 $\pm$ 19 | 2.0 <sup>a</sup> |
|                          | 3               | 24 $\pm$ 3           | 18 $\pm$ 2 | 1.3 <sup>a</sup> | 210 $\pm$ 23 | 24 $\pm$ 2 | 8.7 <sup>o</sup>  | 383 $\pm$ 41 | 82 $\pm$ 9   | 4.7 <sup>o</sup> |

**Результаты и обсуждение.** Повышение плотности посадки (выращивание трех растений в горшке вместо одного) привело к снижению накопления массы как корней, так и побегов растений салата (рис. 1). Торможение роста в присутствии соседей у этилен-нечувствительных растений было значимым только в корнях. Уменьшение площади листьев в присутствии соседей наблюдалось только в случае обработки МЦП, в то время как площадь листьев этилен-чувствительных растений достоверно не различалась (табл.1).

Это привело к тому, что значение отношения площади листьев к их массе (specific leaf area (SLA)) у этилен-чувствительных конкурирующих растений салата из-за меньшей массы их листьев было выше по сравнению с показателем SLA у одиночно посаженных растений (табл. 1). Значение SLA у МЦП-обработанных конкурирующих растений было ниже по сравнению с обработанными одиночными растениями за счет существенного снижения площади листьев (табл. 1). Транспирация на единицу площади была ниже у сгруппированных растений по сравнению с одиночно растущими в варианте опыта без обработки МЦП (табл. 1). Обработка МЦП незначительно влияла на транспирацию как одиночно растущих, так и сгруппированных растений. В случае повышенной плотности посадки растений концентрация АБК в побегах возрастала (рис. 2). Такой эффект, очевидно, был независимым от чувствительности к этилену, так как концентрация АБК

в любом варианте не претерпела существенных изменений при обработке МЦП. Концентрация АБК (рис. 2) и содержание этого гормона в корне (табл. 2) под влиянием конкуренции изменялись противоположно изменениям концентрации АБК в побеге. Обработка МЦП достоверно не изменяла концентрацию и содержание АБК как в корнях, так и в побегах при обоих вариантах постановки эксперимента.

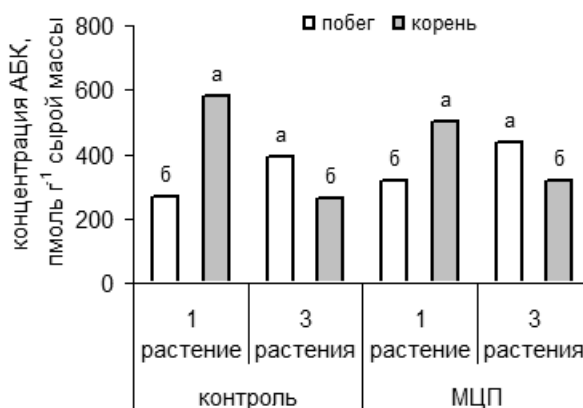


Рис. 2. Концентрация АБК в побегах и корнях одиночно растущих (1 растение/горшок) и сгруппированных (растущих по 3 в горшке) растений салата спустя 2 дня после обработки МЦП. Статистически различающиеся значения для побега и для корня обозначены разными буквами ( $n=9$ ,  $p < 0.05$ , двухфакторный ANOVA, LSD test)

Конкуренция повлияла на уровень ауксинов в этилен-чувствительных (необработанных МЦП) растениях салата. Так же, как и в случае с АБК, уровень концентрации гормона был выше в побегах и ниже в корнях

сгруппированных растений по сравнению с одиночно растущими (рис. 3). Однако ингибирование рецепторов этилена полностью изменили схему ответа, а именно: обработка привела к низкой концентрации и содержанию ИУК в корнях как одиночных, так и сгруппированных растений (рис. 3, табл. 2). При обработке МЦП наблюдалось значительное увеличение концентрации ИУК в побегах одиночно растущих растений салата, в отличие от конкурирующих растений, у которых концентрация этого гормона не изменялась. Увеличение плотности посадки растений приводило к снижению концентрации (рис. 4) и содержания (табл. 2) цитокининов в корнях. При обработке МЦП уровень цитокининов увеличивался у конкурирующих растений, и по уровню этого гормона одиночно растущие и сгруппированные растения не отличались между собой (рис. 4). В побегах концентрация и содержание цитокининов в обработанных МЦП конкурирующих растениях были достоверно ниже, чем в одиночно растущих нечувствительных к этилену растениях салата.

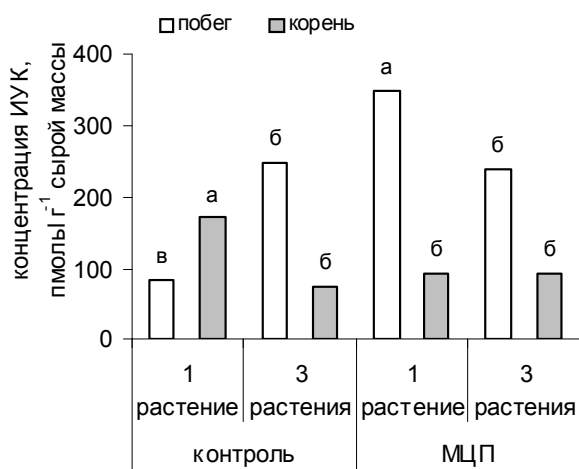


Рис. 3. Концентрация ИУК в побегах и корнях одиночно растущих (1 растение/горшок) и сгруппированных (растущих по 3 в горшке) растений салата спустя 2 дня после обработки МЦП. Статистически различающиеся значения для побега и для корня обозначены разными буквами ( $n=9$ ,  $p < 0.05$ , двухфакторный ANOVA, LSD test)

Снижение биомассы отдельных растений с увеличением густоты посадки обычно

объясняется конкуренцией за ресурсы. Однако в наших опытах ресурсов было достаточно для поддержания их роста. Несмотря на отсутствие затенения, повышение SLA сгруппированных растений, считающееся одним из важных физиологических ответов в адаптации растений к низкой интенсивности света [8], показывает, что растения в наших опытах воспринимали какие-то сигналы о предстоящем затенении. Изменение ростового ответа при конкуренции, наблюдаемое у МЦП-обработанных растений салата, подчеркивает важность этилена в таком сигналинге. Тем не менее этилен вряд ли является единственным гормоном, участвующим в реакции растений на увеличение плотности посадки. Ингибирование роста и транспирации у конкурирующих растений в наших экспериментах коррелирует с накоплением АБК в побегах (коэффициент корреляции между концентрацией АБК, биомассой побегов и транспирацией составляет  $-0.92$  и  $-0.98$  соответственно). Как известно, АБК признается в качестве основного регулятора устьичной проводимости [9]. Следовательно, сокращение массы конкурирующих растений салата (рис. 1) может

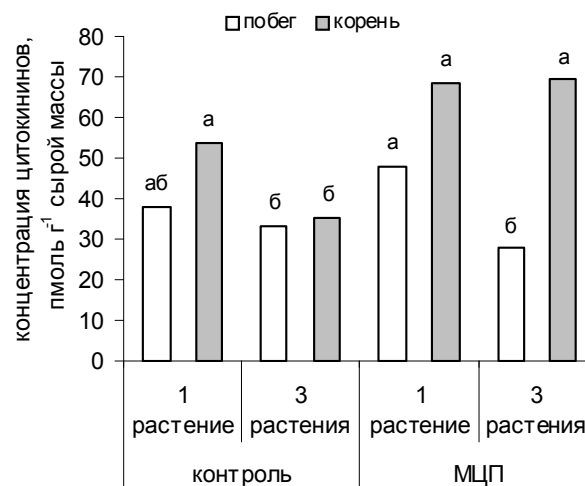


Рис. 4. Концентрация цитокининов (суммы зеатина (З), зеатинрибозид (ЗР), зеатиннуклеотида (ЗН)) в побегах (А) и корнях (Б) одиночно растущих (1 растение/горшок) и сгруппированных (растущих по 3 в горшке) растений салата спустя 2 дня после обработки МЦП. Статистически различающиеся значения для побега и для корня обозначены разными буквами ( $n=9$ ,  $p < 0.05$ , двухфакторный ANOVA, LSD test)

быть косвенным результатом индуцированного АБК закрытия устьиц. Снижение концентрации и содержания ИУК, обнаруженное нами в корнях, сопровождалось накоплением этого гормона в побегах, что привело к примерно 7-кратному увеличению значения соотношения побег/корень у сгруппированных этилен-чувствительных растений (рис. 3, табл. 2). Распределение ауксинов полностью изменилось, когда растения стали нечувствительны к этилену в результате обработки МЦП. Это проявлялось в увеличении соотношения содержания ИУК побег/корень в одиночно растущих, обработанных МЦП растениях, по сравнению с одиночно растущими, чувствительными к этилену, растениями (рис. 3). В соответствии с этим либо конкуренция, либо обработка МЦП ингибируют транспорт ауксинов в корни, в результате чего уменьшается содержание ИУК в корнях и происходит ингибирование их роста. Содержание и концентрация цитокининов уменьшились в корнях конкурирующих этилен-чувствительных растений, но увеличились в корнях конкурирующих растений после обработки МЦП. Следовательно, увеличение плотности посадки приводило к противоположным эффектам в зависимости от чувствительности к этилену (табл. 2). Т.к. было показано, что цитокинин-ауксин антагонистические взаимодействия являются основополагающими в управлении развития корневой системы [10], то как накопление цитокининов, так и снижение содержания ауксинов в корнях, вероятно, способствовало торможению роста корней и в условиях конкуренции, и при обработке МЦП.

*Исследования поддержаны грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 14-04-00775 А.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kegge W., Pierik R. Biogenic volatile organic compounds and plant competition // *Trends Plant Sci.* 2010. V. 15. P. 126–132.
2. Procko C., Crenshaw C.M., Ljung K., Noel J.P., Chory J. Cotyledon-generated auxin is required for shade-induced hypocotyl growth in *Brassica rapa* // *Plant Physiol.* 2014. V. 65. P. 1285–1301.

3. Vysotskaya L., Wilkinson S., Davies W.J., Arkhipova T., Kudoyarova G. The effect of competition from neighbours on stomatal conductance in lettuce and tomato plants // *Plant Cell Environ.* 2011. V. 34. P. 729–737.

4. Архипова Т.Н., Высоцкая Л.Б., Мартыненко Е.В., Иванов И.И., Кудоярова Г.Р. Участие цитокининов в реакции растений на присутствие конкурентов // *Физиол. раст.* 2015. Т. 62. С. 560–570.

5. Stamm P., Kumar P.P. The phytohormone signal network regulating elongation growth during shade avoidance // *J. Exp. Bot.* 2010. V. 61(11). P. 2889–2903.

6. Wilkinson S., Davies W.J. Ozone suppresses soil drying and abscisic acid (ABA)-induced stomatal closure via an ethylene-dependent mechanism // *Plant Cell Environment.* 2009. V. 32. P. 949–959.

7. Vysotskaya L.B., Kudoyarova G.R., Veselov S., Jones H.G. Unusual stomatal behaviour on partial root excision in wheat seedlings // *Plant Cell Environment.* 2004. V. 27. P. 69–77.

8. Poorter H., Pepin S., Rijkers T., DeJong Y., Evans J.R., Korner C. Construction costs, chemical composition and payback time of high- and low-irradiance leaves // *J. Exp. Bot.* 2006. V. 57. P. 355–371.

9. Davies W.J., Kudoyarova G.R., Hartung W. Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plant's response to drought // *J. Plant Growth Regul.* 2005. V. 24. P. 285–295.

10. Moubayidin L., Di Mambro R., Sabatini S. Cytokinin-auxin crosstalk // *Trends Plant Sci.* 2009. V. 14. P. 557–562.

#### References

1. Kegge W., Pierik R. Biogenic volatile organic compounds and plant competition. *Trends Plant Sci.*, 2010, vol. 15, pp. 126–132.
2. Procko C., Crenshaw C.M., Ljung K., Noel J.P., Chory J. Cotyledon-generated auxin is required for shade-induced hypocotyl growth in *Brassica rapa*. *Plant Physiol.*, 2014, vol. 65, pp. 1285–1301.
3. Vysotskaya L., Wilkinson S., Davies W.J., Arkhipova T., Kudoyarova G. The effect of competition from neighbours on stomatal conductance in lettuce and tomato plants. *Plant Cell Environ.*, 2011, vol. 34, pp. 729–737.
4. Arkhipova T.N., Vysotskaya L.B., Martynenko E.V., Ivanov I.I., Kudoyarova G.R. Participation of cytokinins in plant response to competitors. *Fiziologiya rasteniy*, 2015, vol. 62, pp. 560–570.
5. Stamm P., Kumar P.P. The phytohormone signal network regulating elongation growth during shade avoidance. *J. Exp. Bot.*, 2010, vol. 61(11), pp. 2889–2903.

6. Wilkinson S., Davies W.J. Ozone suppresses soil drying and abscisic acid (ABA)-induced stomatal closure via an ethylene-dependent mechanism. *Plant Cell Environment*, 2009, vol. 32, pp. 949–959.

7. Vysotskaya L.B., Kudoyarova G.R., Veselov S., Jones H.G. Unusual stomatal behaviour on partial root excision in wheat seedlings. *Plant Cell Environment*, 2004, vol. 27, pp. 69–77.

8. Poorter H., Pepin S., Rijkers T., DeJong Y., Evans J.R., Korner C. Construction costs, chemical composition and payback time of high- and low-

irradiance leaves. *J. Exp. Bot.*, 2006, vol. 57, pp. 355–371.

9. Davies W.J., Kudoyarova G.R., Hartung W. Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plant's response to drought. *J. Plant Growth Regul.*, 2005, vol. 24, pp. 285–295.

10. Moubayidin L., Di Mambro R., Sabatini S. Cytokinin-auxin crosstalk. *Trends Plant Sci.*, 2009, vol. 14, pp. 557–562.



## EFFECT OF COMPETITION AND TREATMENT WITH INHIBITOR OF ETHYLENE PERCEPTION ON GROWTH AND HORMONE CONTENT OF LETTUCE PLANTS

© L.B. Vysotskaya, T.N. Arkhipova, G.R. Kudoyarova

Ufa Institute of Biology, RAS,  
69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

This paper studies the role of such hormones as auxin (IAA), abscisic acid (ABA), ethylene, cytokinins (CK) and their interplay in regulating growth response to changes in planting density. The study was carried out with one week-old lettuce plants grown singly or in groups of three plants per pot. IAA, ABA and cytokinin contents were determined by immunoassay. The role of ethylene in the responses to neighbours was estimated using ethylene perception inhibitor 1-methylcyclopropene (1-MCP). We found a decrease in shoot and root mass of the competing lettuce plants within 5 days after transplantation in the absence of resource limitations. The sensitivity loss of plants to ethylene as a result of their 1-MCP treatment under competition still further inhibited root growth and prevented the increase in the ratio of leaf area to mass which was observed in ethylene-sensitive lettuce plants. This indicator is considered one of the major physiological responses of plants adaptation to low light intensity. Since in our experiments at this time the competing sensitive to ethylene plants did not shade each other, this suggests that the plants perceived some signals about the upcoming shading. The change of the growth response under competition observed in the MCP-treated lettuce plants emphasizes the importance of ethylene in this signalling. Accumulation of ABA in shoots, as well as the decline in root auxins, was likely to contribute to inhibition of shoot and root growth of the plants grown in the presence of neighbours. Importance of the changes in hormone concentration was confirmed by the data showing that disturbance of auxin and cytokinin distribution detected in the MCP-treated plants was accompanied by corresponding modifications of their growth response.

Key words: lettuce; competition, growth, auxins, ethylene sensitivity, abscisic acid, cytokinins.

## ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ КРАСНОЙ КНИГИ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2015 ГОД

© Е.В. Письмаркина, Т.Б. Силаева

После выхода региональной Красной книги становятся актуальными работы по ее ведению. Задачи ведения Красной книги состоят в выявлении новых местонахождений охраняемых видов, оценке состояния их популяций, обосновании внесения в Красную книгу новых таксонов или исключения ранее внесенных, оценке местообитаний в качестве перспективных для организации особо охраняемых природных территорий. В статье приводятся материалы о новых местонахождениях некоторых редких видов флоры Ульяновской области, выявленных в результате полевых исследований 2015 г. на северо-западе региона. Маршруты проходили в Вешкаймском, Карсунском и Сурском административных районах. Обследовались выходы карбонатных пород – мела и мергеля, широко распространенные на территории области. Найдены новые местонахождения таких видов, как *Adonis vernalis* L., *Ceratoides papposa* Botsch. et Ikonn., *Caragana frutex* (L.) C. Koch, *Hedysarum gmelinii* Ledeb., *Hedysarum grandiflorum* Pall., *Linum ucranicum* Czern., *Polygala sibirica* L., *Scabiosa isetensis* L., *Centaurea ruthenica* Lam., *Artemisia sericea* Web. ex Stechm., *Artemisia latifolia* Ledeb., *Crepis pannonica* (Jacq.) C. Koch, *Helictotrichon desertorum* (Less.) Nevski, *Stipa pennata* L., *Carex pediformis* C. A. Mey., *Thymus dubjanskyi* Klok. et Schost., *Scrophularia umbrosa* Dumort. Соответствующие гербарные сборы переданы в коллекции Московского педагогического государственного университета (МОСП), Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МВ) и Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева (ГМУ). Для каждого вида приводятся: текст гербарной этикетки, краткая характеристика распространения по территории северо-запада области (в границах Базарносызганского, Барышского, Вешкаймского, Инзенского, Карсунского и Сурского районов), сделанная на основе материала гербариев и публикаций, содержащих цитирование соответствующих сборов. Для отдельных видов приведены местонахождения, ближайшие к вновь найденным и подтвержденные гербарными сборами. Порядок расположения таксонов в статье, их номенклатура и категории редкости соответствуют таковым в последнем издании Красной книги Ульяновской области.

Ключевые слова: сосудистые растения, находки, редкие виды, Красная книга, Ульяновская область.

Последнее издание Красной книги Ульяновской области вышло в свет в 2015 г. [1]. Работы по мониторингу охраняемой флоры Ульяновской области проводятся авторами, начиная с 2003 г., и отражены в ряде публикаций [3–6]. Библиографический список всех доступных на 2014 г. литературных источников по редким и охраняемым видам флоры региона приведен в нашей предыдущей статье [2].

В результате полевых исследований 2015 г. на северо-западе Ульяновской области (Вешкаймский, Карсунский и Сурский административные районы) были выявлены новые местонахождения видов сосудистых

растений из списка региональной Красной книги [1]. Гербарные сборы, документирующие находки хранятся в коллекциях Московского педагогического государственного университета (МОСП), Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МВ) и Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева (ГМУ).

Способ подачи информации аналогичен принятому в предыдущей статье [2]. Для каждого вида, помимо текста гербарной этикетки, приводится краткая характеристика распространения по территории северо-запада области (в границах Базарносызганского, Барыш-

ПИСЬМАРКИНА Елена Васильевна – к.б.н., Ботанический сад Уральского отделения РАН,  
e-mail: elena\_pismar79@mail.ru

СИЛАЕВА Татьяна Борисовна – д.б.н., Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,  
e-mail: tbsilaeva@yandex.ru

ского, Вешкаймского, Инзенского, Карсунского и Сурского районов), сделанная на основе материала гербариев и публикаций, содержащих цитирование соответствующих сборов. Для отдельных видов приведены местонахождения, ближайшие к вновь найденным и подтвержденные гербарными сборами.

Порядок расположения таксонов, их номенклатура и категории редкости соответствуют таковым в Красной книге Ульяновской области [1]. Географические названия сопровождаются общепринятыми сокращениями: пос. – поселок, р. – река; с. – село.

Для обозначения гербарных коллекций используются их международные акронимы. Кроме вышеупомянутых, это: PVB – Гербарий Института экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти; UPSU – Гербарий Ульяновского государственного педагогического университета, г. Ульяновск.

*Adonis vernalis* L. – адонис весенний (2а – вид, сокращающийся в численности в результате изменений условий существования или разрушения местообитаний): 1) Карсунский район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. Письмаркина (далее – Е. П.), Т. Силаева (далее – Т. С.) (MOSP, GMU); 2) тот же район, каменистая степь по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (MOSP). В области известен из большого числа местонахождений, но в других пунктах (MOSP, GMU, PVB) [1–7, 9, 10].

*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. – терескен серый (3в – редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность и растущий по выходам мелов и других карбонатных пород): Карсунский район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е.П., Т. С. (GMU, MOSP). Все известные местонахождения на северо-западе области находятся в Карсунском и Сурском районах (GMU, MOSP) [3, 5], ближайшие – по мергелисто-меловым выходам в правобережье Суры по линии Кадышево – Русские Горенки Карсунского района (GMU, MOSP) [2, 3].

*Caragana frutex* (L.) С. Koch – карагана кустарниковая (3.R – редкий вид): Вешкайм-

ский район, окрестности с. Зимненки, урочище Провал, у подножия мергелисто-меловых склонов вдоль ручья Провал, 20.VI, Е. П., Т. С. (MW). Единственное местонахождение на северо-западе области. Все более ранние находки сделаны на юге региона – в Новоспасском и Радищевском районах (PVB). Флористический состав урочища, наличие здесь таких крайне редких в области видов, как *Aster alpinus* L., *Helianthemum canum* (L.) Hornem., *Asperula exasperata* V. Krecz. ex Klok. и др. (сборы 2014 г., С.В. Саксонов и др. – PVB; сборы 2015 г., Е. П., Т. С. – MOSP, GMU) позволяют говорить об аборигенном характере местонахождения *Caragana frutex* и крайнем северном пункте на ульяновской части ареала. Ранее в бассейне Суры этот вид считался адвентивным [7].

*Hedysarum gmelinii* Ledeb. – копеечник Гмелина (2а – вид, сокращающийся в численности в результате изменений условий существования или разрушения местообитаний): Карсунский район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. П., Т. С. (MOSP, GMU). На северо-западе области зарегистрирован в Карсунском и Вешкаймском районах, везде представлен многочисленными и обширными популяциями (MW, MOSP, GMU, PVB) [3, 5].

*Hedysarum grandiflorum* Pall. – копеечник крупноцветковый (2а – вид, сокращающийся в численности в результате изменений условий существования или разрушения местообитаний; внесен в Красную книгу Российской Федерации [8]): 1) Карсунский район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. П., Т. С. (MOSP, GMU); 2) тот же район, каменистая степь по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (MOSP, GMU). На северо-западе области зарегистрирован в Карсунском и Вешкаймском районах (MW, MOSP, GMU, PVB) [3–6].

*Linum ucranicum* Czern. [*L. ucranicum* Czern. subsp. *uralense* (Juz.) Egor.] – лен украинский (2а – вид, сокращающийся в численности в результате изменений условий существования или разрушения местообитаний):



Карсунский район, каменистая степь по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (MOSP, GMU). На северо-западе области зарегистрирован в большом числе местонахождений в Инзенском, Вешкаймском и Карсунском районах (GMU, MOSP, PVB) [2–6]. Ближайшее местонахождение – по склонам к р. Урень против с. Урено-Карлинское того же района (MOSP, PVB) [5], для северной окраины с. Теньковка [6] приводится ошибочно.

*Polygala sibirica* L. – истод сибирский (3в – редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность и растущий по выходам мелов и других карбонатных пород): 1) Карсунский район, каменистая степь по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (GMU); 2) Сурский район, склон горы Бобылевская к северу от с. Полянки, на щебнистом субстрате, 13.VI, Е. П. (MOSP). На северо-западе области сделаны сборы из многочисленных пунктов в Инзенском, Вешкаймском, Карсунском и Сурском районах (GMU, MOSP, PVB) [2–6].

*Scabiosa isetensis* L. – скабиоза исетская (2а – вид, сокращающийся в численности в результате изменений условий существования или разрушения местообитаний): 1) Карсунский район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. П., Т. С. (GMU); 2) тот же район, каменистая степь по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, по всей площади мергелисто-меловых обнажений, 7.VII, Е. П. (MOSP, GMU). Во втором местонахождении популяция является наиболее многочисленной из всех ранее зарегистрированных [2–6]. На северо-западе области известен во всех административных районах, кроме Барышского и Базарносызганского (MOSP, GMU, PVB) [1–6].

*Centaurea ruthenica* Lam. – василек русский (2а – вид, сокращающийся в численности в результате изменений условий существования или разрушения местообитаний): 1) Карсунский район, каменистая степь по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (MOSP, GMU). На

северо-западе области известен во всех административных районах, кроме Барышского (MOSP, GMU, PVB), ближайшее местонахождение – по опушке нагорной дубравы у пос. Языково Карсунского района (MOSP) [5].

*Artemisia sericea* Web. ex Stechm. – полынь шелковистая (3в – редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность и растущий по выходам мелов и других карбонатных пород): 1) Карсунский район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. П., Т. С. (GMU); 2) тот же район, каменистая степь по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (MOSP). На северо-западе области известен из многих пунктов во всех административных районах, кроме Базарносызганского (MOSP, GMU, PVB) [1–6, 9].

*Artemisia latifolia* Ledeb. – полынь широколистная (3в – редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность и растущий по выходам мелов и других карбонатных пород): 1) Карсунский район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. П., Т. С. (GMU); 2) тот же район, каменистая степь по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (MOSP). На северо-западе области известен из многих пунктов во всех административных районах (MOSP, GMU, PVB, UPSU) [1–6, 9, 10].

*Crepis pannonica* (Jacq.) С. Koch – скерда венгерская (3б – редкий вид, имеющий значительный ареал, в пределах которого встречается спорадически и с небольшой численностью популяций): 1) Карсунский район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. П., Т. С. (GMU); 2) тот же район, каменистая степь по крутым склонам к р. Уренек и его левому притоку на северной окраине и к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (MOSP, GMU). На северо-западе области зарегистрирован в Инзенском, Карсунском и Сурском районах (MOSP, GMU, PVB) [3, 5, 6]. Ближайшее местонахождение – в окрестностях с. Кадышево Карсунского района (MW, GMU) [3].

*Helictotrichon desertorum* (Less.) Nevski – овец пустынный (Зв – редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность и растущий по выходам мелов и других карбонатных пород): 1) Карсунский район, каменистая степь по крутым склонам правого берега р. Кандаратка у с. Малая Кандарать, 13.VI, Е.П. (MOSP); 2) тот же район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. П., Т. С. (GMU). На северо-западе области известен из многих пунктов во всех административных районах, кроме Барышского и Базарносызганского (MOSP, GMU, PVB) [1–6], ближайшее местонахождение – в окрестностях пос. Карсун (MOSP, PVB) [5].

*Stipa pennata* L. – ковыль перистый (2а – вид, сокращающийся в численности в результате изменений условий существования или разрушения местообитаний; вид из Красной книги Российской Федерации [9]): 1) Карсунский район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. П., Т. С. (GMU, MOSP); 2) тот же район, каменистая степь по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (MOSP, GMU). Наиболее распространенный в области вид рода *Stipa* (MOSP, GMU, PVB), в большинстве местонахождений является ценозообразователем [1–6].

*Carex pediformis* С. А. Меу. – осока стоповидная (Зв, г – редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность и находящийся в области на границе своего ареала): 1) Карсунский район, каменистая степь по крутым склонам правого берега р. Кандаратка у с. Малая Кандарать, 13.VI, Е.П. (MOSP); 2) тот же район, каменистая степь на мергелисто-меловом субстрате к востоку от с. Комаровка, 20.VI, Е. П., Т. С. (MOSP, GMU); 3) Вешкаймский район, северная окраина с. Ермоловка, каменистая степь по верху высокого мергелисто-мелового склона, 11.VII, Е. П. (MOSP). На северо-западе области известен из многих пунктов во всех административных районах, кроме Сурского (MOSP, GMU, PVB), ближайшее местонахождение зарегистрировано на мергелисто-меловом склоне правого берега р. Сура по линии Кадышево – Русские Горенки (GMU) [3].

Найдено новое местонахождение *Thymus dubjanskyi* Klok. et Schost. (тимьяна Дубянского). В Красную книгу Ульяновской области [1] с категорией редкости Зв (редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность и растущий по выходам мелов и других карбонатных пород) внесен под названием *Thymus cimicinus* Blum ex Ledeb. (тимьян клоповый). Он же включен в Красную книгу Российской Федерации [8]. Однако при изучении гербарных материалов по роду *Thymus* было установлено, что средневольтские популяции следует относить к *Thymus dubjanskyi*. Как показали исследования последних лет, *Thymus dubjanskyi* на северо-западе региона является постоянным компонентом сообществ каменисто-меловых степей [2–6].

*Thymus dubjanskyi* найден в Карсунском районе, в каменистой степи по крутым склонам к левому притоку р. Уренек к востоку от с. Теньковка, 7.VII, Е. П. (MOSP, GMU).

*Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (проект № 6.783.2014К) и, частично, при поддержке Комплексной программы Уральского отделения РАН (проект № 15–12–4–35).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Красная книга Ульяновской области / под науч. ред. Е.А. Артемьевой, А.В. Масленникова, М.В. Корепова. М.: Буки-Веди, 2015. 550 с.
2. Письмаркина Е.В., Силаева Т.Б. Флористические материалы для ведения Красной книги Ульяновской области за 2014 год // Известия Самарского НЦ РАН. 2014. Т. 16, № 5. С. 126–129.
3. Силаева Т.Б., Кирюхин И.В., Письмаркина Е.В. Новые флористические материалы для Красной книги Ульяновской области // Известия Самарского НЦ РАН. 2005. Вып. 4. С. 183–189.
4. Письмаркина Е.В., Пузырькина М.В., Лабутин Д.С. Флористические материалы для ведения Красной книги Ульяновской области за 2010 год // Известия Самарского НЦ РАН. 2011. Т. 13, № 5. С. 83–87.
5. Письмаркина Е.В. Флористические материалы для ведения Красной книги Ульяновской области за 2011 год // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14, № 1 (7). С. 1816–1820.
6. Письмаркина Е.В. Флористические материалы для ведения Красной книги Ульяновской области за 2013 год // Известия Самарского НЦ РАН. 2013. Т. 15, № 3 (7). С. 2172–2174.
7. Силаева Т.Б. Флора бассейна реки Суры (современное состояние, антропогенная трансформация

и проблемы охраны): дис. ... д-ра биол. наук. М., 2006. 907 с.

8. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2008. 855 с.

9. Благовещенский В.В. Растительность Приволжской возвышенности в связи с ее историей и рациональным использованием. Ульяновск: УлГУ, 2005. 715 с.

10. Истомина Е.Ю., Силаева Т.Б. Конспект флоры бассейна реки Инзы: учебное пособие. Ульяновск: УлГПУ, 2013. 160 с.

### References

1. The Red Data Book of the Ulyanovsk Region. E.A. Artemyev, O.V. Borodin et al. (eds.). Ulyanovsk, Artishok, 2008. 508 p.

2. Pismarkina E.V., Silaeva T.B. Floral materials for the Red Data Book of the Ulyanovsk Region over 2014. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN*, 2014, vol. 16, no. 5, pp. 126–129.

3. Silaeva T.B., Kiryukhin I.V., Pismarkina E.V. New floral materials for the Red Data Book of the Ulyanovsk Region. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN*, 2005, no. 4, pp. 183–189.

4. Pismarkina E.V., Puzyrkin M.V., Labutin D.S. Floral materials for the Red Data Book of the Ulyanovsk Region over 2010. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN*, 2011, vol. 13, no. 5, pp. 83–87.

5. Pismarkina E.V. Floral materials for the Red Data Book of the Ulyanovsk Region over 2011. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN*, 2012, vol. 14, no. 1 (7), pp. 1816–1820.

6. Pismarkina E.V. Floral materials for the Red Data Book of the Ulyanovsk Region over 2013. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN*, 2013, vol. 15, no. 3 (7), pp. 2172–2174.

7. Silaeva T.B. Flora of Sura River basin (current state, anthropogenic transformation and protection issues). PhD Thesis in Biology. Moscow, 2006. 907 p.

8. Red Data Book of the Russian Federation (plants and fungi). Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008. 855 p.

9. Blagoveshchenskiy V.V. Vegetation of the Volga Upland in connection with its history and effective management. Ulyanovsk, UIGU, 2005. 715 p.

10. Istomina E.Yu., Silaeva T.B. Synopsis of the flora of the Inza River basin. Training manual. Ulyanovsk, UIGPU, 2013. 160 p.

## FLORAL MATERIALS FOR THE RED DATA BOOK OF THE ULYANOVSK REGION OVER 2015

© E.V. Pismarkina<sup>1</sup>, T.B. Silaeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Botanical Garden, Ural Division, RAS,  
202a, ulitsa 8 Marta, 620144, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup>Ogarev Mordovia State University,  
68, ulitsa Bolshevistskaya, 430000, Saransk, Russian Federation

After the regional Red Book has been published, its maintenance becomes currently central. The objectives are as follows: to reveal new locations of the protected species, to assess the status of their populations, to substantiate the inclusion of new taxa into the Red Data Book or exclusion of those included earlier, and to estimate the newly found locations as promising places to organize specially protected areas. This paper presents the data on new locations of several rare species found as a result of field investigations in the north-western Ulyanovsk Region in 2015. The routes included Veshkaymskiy, Karsunskiy, and Surskiy districts. We investigated the outcrops of carbonate rocks (chalk and marl) widely spread throughout the area and discovered new locations of the following species: *Adonis vernalis* L., *Ceratoides papposa* Botsch. et Ikonn., *Caragana frutex* (L.) C. Koch, *Hedysarum gmelinii* Ledeb., *Hedysarum grandiflorum* Pall., *Linum ucranicum* Czern., *Polygala sibirica* L., *Scabiosa isetensis* L., *Centaurea ruthenica* Lam., *Artemisia sericea* Web. ex Stechm., *Artemisia latifolia* Ledeb., *Crepis pannonica* (Jacq.) C. Koch, *Helictotrichon desertorum* (Less.) Nevski, *Stipa pennata* L., *Carex pediformis* C.A. Mey., *Thymus dubjanskiyi* Klok. et Schost., *Scrophularia umbrosa* Dumort. Herbarium specimens of the above-listed taxa were passed on to the collections of the Moscow Pedagogical State University (MOSP), the Lomonosov State University of Moscow (MW) and the Ogarev Mordovia State University (GMU). Each taxon in the paper is provided with the text of its herbarium label and a brief description of its distribution in northwestern parts of the region (within Bazarnosyzyganskiy, Baryshskiy, Veshkaymskiy, Inzenskiy, Karsunskiy and Surskiy districts) compiled on the basis of herbarium materials and corresponding publications. Several species are provided with a list of locations in the nearest vicinity to the area under investigation supported with herbarium specimens. The order of the taxa, their nomenclature and rarity status correspond to those in the last edition of the Red Data Book of the Ulyanovsk Region.

Key words: vascular plants, findings, rare species, Red Data Book, Ulyanovsk Region.

УДК 553.061.12

## РУДОНОСНОСТЬ ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗОНЫ УРАЛТАУ

© В.И. Сначёв

Кратко рассмотрено геологическое строение северной части зоны Уралтау. Среди развитых здесь интрузивных образований выделены: барангуловский габбро-гранитный, артлышский гранитный и кирябинский пироксенит-габбровый комплексы.

В пределах юго-восточной части Барангуловского массива выделен перспективный на редкометальное оруденение участок, где отмечены высокие содержания тантала и ниобия. Показано, что максимальные значения редких металлов приурочены к грейзенизированным породам, аплитовидным дайковым телам и штокам флюоритсодержащих альбититов.

Вольфрам-молибденовая минерализация в южной части рассматриваемой территории связана с крупным нескрытым эрозией интрузивным телом кислого состава, отдельные части которого обнажены в виде небольших штокообразных выходов Артлышского гранитоидного массива. Редкометальная минерализация, установленная в интенсивно измененных углеродистых сланцах в восточном его обрамлении, может быть отнесена к жильно-штокверковому типу W-Mo рудной формации.

Аналитические исследования метасоматически измененных магматических пород, медных и хромитовых руд кирябинского комплекса показали слабую их специализацию на золото и элементы группы платины. Определенный интерес представляют лишь вкрапленные пирит-халькопиритовые руды Кирябинского месторождения, в которых обнаружены довольно крупные знаки золота, что позволяет продолжить изучение рассматриваемой территории на благородные металлы.

Ключевые слова: зона Уралтау, интрузивные комплексы, золото, медь, платиноиды.

В пределах зоны Уралтау магматические образования развиты неравномерно, встречаясь в виде узкой полосы в основном вдоль ее западного фланга. В наиболее концентрированном виде они известны на севере Кирябинско-Узянбашского района среди отложенных мазаринской, арвякской и аршинской свит суванякского комплекса (рис. 1). Здесь магматические породы прослежены по простиранию почти на 80 км, начиная от широты г. Белорецка и вплоть до северного периклинального замыкания Уралтауского антиклинория. В южной части площади в полосе развития отложений акбиикской и белекейской свит магматические образования встречаются лишь эпизодически, в частности, в бассейне р. Бетеря, где отмечена серия небольших выходов гранитов Артлышского массива.

По особенностям вещественного состава и геолого-структурному положению магматические образования рассматриваемой территории традиционно подразделяются на следующие комплексы: барангуловский габбро-гранитный, кирябинский пироксенит-габбровый, артлышский гранитный [1] (рис. 1).

Барангуловский габбро-гранит-лейкогранитовый комплекс является наиболее крупным как по занимаемой им площади, так и по количеству и масштабу магматических тел. Он объединяет Барангуловский габбро-гранитный и Мазаринский преимущественно гранитный массивы.

**Барангуловский массив** расположен в верховьях рр. Городской Ключ, Рясток и Вишневы Дол и представлен вытянутым в северо-

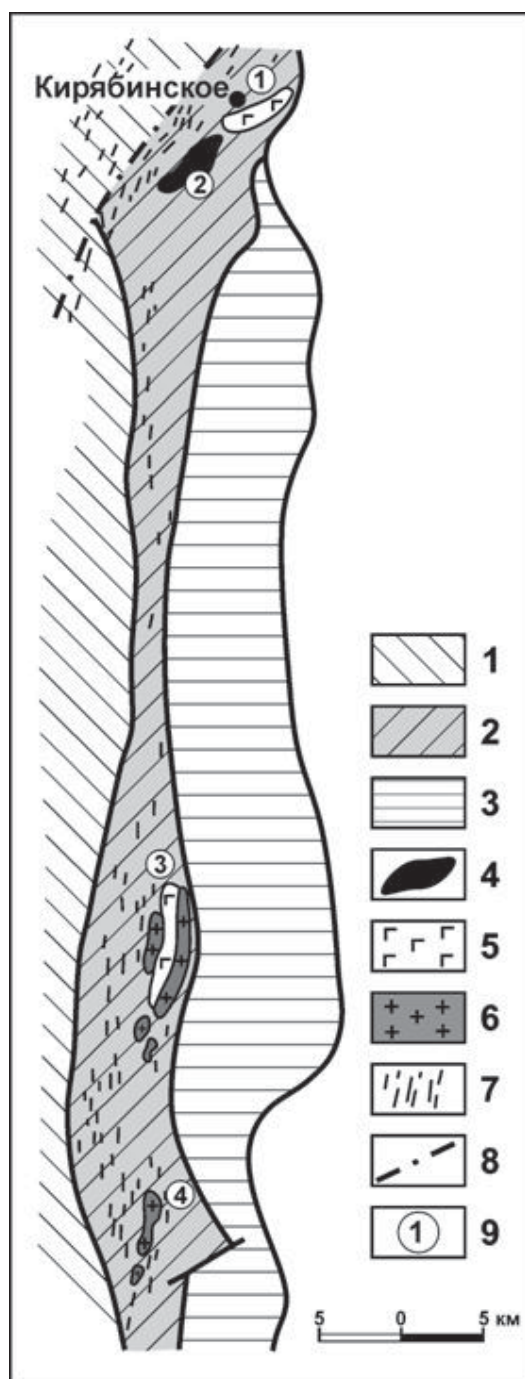


Рис. 1. Схематическая карта магматизма северной части зоны Уралтау (составлена по материалам А.А. Алексеева [1]).

Условные обозначения: 1–3 – свиты суваянского комплекса: 1 – арвьянская, 2 – курташская и мазаринская нерасчлененные, 3 – уткальская; 4 – ультрабазиты; 5 – габброиды; 6 – граниты; 7 – силлово-дайковые тела габбро и габбро-диабазов; 8 – разрывные нарушения; 9 – интрузивные массивы: 1 – Кирябинский габброидный, 2 – Бирсинский серпентинитовый, 3 – Барангуловский габбро-гранитный, 4 – Мазаринский гранитный

ро-восточном направлении линзовидным телом размером 11×4 км с неоднородным внутренним строением. Можно отметить, что гранитная часть массива обнажена в виде узкой полосы в основном вдоль восточной его периферии, а также представлена небольшими линзовидными телами на западном фланге, тогда как породы габбрового состава слагают южное и северное замыкание массива и наиболее развиты в его центральной части.

По результатам маршрутных наблюдений в южной части Барангуловского массива выделен участок, перспективный на Ta-Nb минерализацию [2] (рис. 2). Участок расположен на водораздельной гриве, сложенной лейкократовыми разностями гранитов, образующих небольшое куполовидное тело среди нормальных гранитов. Лейкократовые граниты представлены здесь однородными светлоокрашенными породами среднезернистой структуры с округлыми выделениями светло-серого кварца. В отличие от обычных гранитов эти породы отличаются большей массивностью, однородностью, отсутствием биотита и хлорита, слабой мусковитизацией. Характерной их особенностью является наличие мелких (до 0.5 см) включений флюорита, который обычно отсутствует в нормальных разностях гранитов. По данным штурфного опробования содержание фтора в лейкократовых гранитах достигает 0.37%. Редкие металлы, как известно, обладают тесной геохимической связью с фтором, образуя с ним устойчивые высоколетучие комплексные фториды. Ранее на примере Восточно-Уральской континентальной рифтовой системы было показано, что месторождения флюорита, барита, редких и благородных элементов имеют отчетливую связь с геодинамическим режимом континентального рифтогенеза.

Особый интерес представляют лейкократовые граниты, являющиеся поздними дифференциатами гранитной магмы и образующими небольшие куполовидные или дайкообразные тела среди нормальных гранитов. В этих гранитах минералогическим анализом обнаружены единичные мелкие зерна колумбита.

На участке развития грейзенизированных пород в пределах южного окончания Барангуловского массива (рис. 2) нами проведены работы по изучению Ta-Nb минерализации. Рентгено-радиометрическим методом в ГЕОХИ (Москва, аналитик А. Лоренц) было выполнено 60 анализов штучных проб. В результате получены весьма обнадеживающие данные. Так, в 20 пробах установлены содержания  $Ta_2O_5$  выше 0.008%, что соответствует нижнему пределу бедных руд на редкоземельных месторождениях. Наибольшие содержания  $Ta_2O_5$  в пробах достигают 0.021,  $Nb_2O_5$  – 0.046%. Уже первые предварительные исследования грейзенизированных пород Барангуловского массива позволяют говорить о необходимости продолжения поисковых работ, результатом которых должно стать оконтуривание

рудных тел в пределах выделенного перспективного участка.

**Артлышский гранитный массив** расположен в восточном борту Зилаирской мегазоны на широте поселка Новоусманово в 1.5 км западнее от него. По геофизическим данным (гравиметрическим и магнитным) границы массива с глубиной значительно расширяются, заходя в западное крыло Уралтауского мегантиклинория [3]. На дневной поверхности массив представлен двумя небольшими коренными выходами и единичными высыпками.

По данным О.В. Артюшковой, В.А. Маслова [4], массив залегает в девонских отложениях новоусмановской (ранее бетринской) свиты, сложенной кремнисто-глинистыми, кремнисто-углеродистыми сланцами, кварцитами

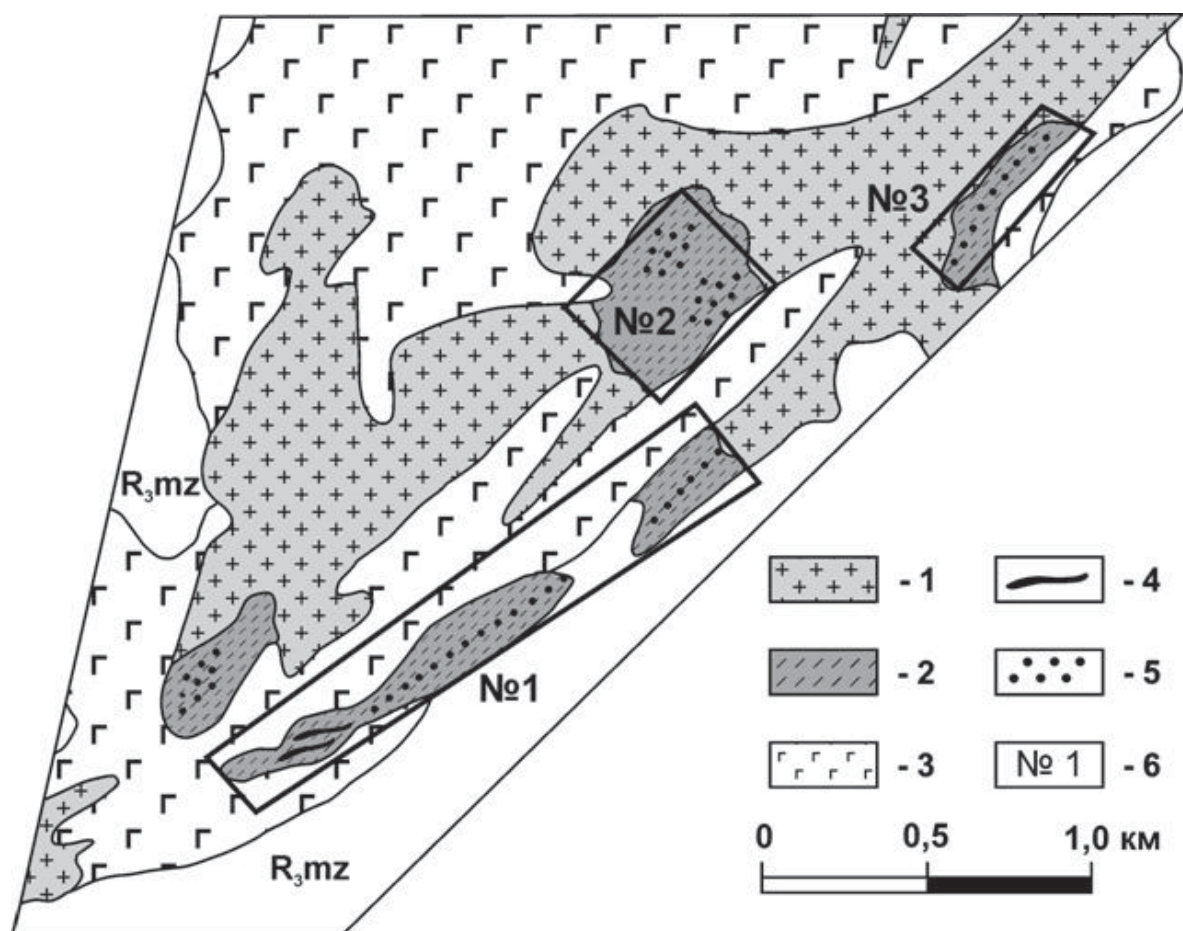


Рис. 2. Геологическое строение Барангуловской площади с выделенными перспективными участками на поиски тантала и ниобия.

Условные обозначения: 1 – граниты; 2 – лейкограниты грейзенизированные катаклазированные, слюдизированные, окварцованные, пиритизированные; 3 – габбро-диабазы; 4 – альбититы; 5 – зоны расланцевания; 6 – перспективные участки

и кварцевыми песчаниками. Непосредственно контакты гранитов и вмещающих пород не обнажаются, сланцы вблизи массива окварцованы, сильно измяты и рассланцованы, наблюдаются кварцевые жилы с ожелезнением.

Интерес к данной территории возник после проведения здесь в конце 60-х гг. геолого-съёмочных работ под руководством Д.Д. Криницкого. Было установлено, что в шлихах ряда притоков р. Бетеря содержатся многочисленные знаки молибденита, а спектральный анализ штучных проб из кварцевых прожилков показал присутствие молибдена в довольно значительном количестве – до 0.04–0.07%. В этих же пробах отмечен и вольфрам до 0.1–0.5%. Последующими работами в правых бортах рр. Бетеря и Салажи в кварцевых прожилках обнаружен молибденит в виде налетов, примазок, нитевидных прожилков и чешуек. Эту вольфрам-молибденовую рудную минерализацию геолого-съёмщики справедливо связывали с крупным не вскрытым эрозией интрузивным телом кислого состава, отдельные части которого в виде штокообразных выходов обнажены на горе Артлыш к западу от д. Новоусманово. В целом вольфрам-молибденовая минерализация представлялась как часть медно-молибден-порфировой рудной системы.

Наши исследования позволили уточнить ранее высказанные представления и на основе собственного аналитического материала, полученного количественными методами, конкретизировать и расширить перспективы площади на редкие и благородные металлы. Всего проанализировано 110 проб на W и Mo, из них 92 пробы спектрографическим методом в АСИЦ ВИМСа (г. Москва) и 18 проб методом JCP-MS в ИГЕМе (г. Москва). Результаты анализа проб на W и Mo гематитизированного жильного кварца, кварцевых алевролитов с гидроокислами железа, гематитизированных черных сланцев показали, что при фоновых значениях для обоих рассматриваемых элементов в 0.0001% в 8 пробах получены содержания W выше 0.01% и в 3 пробах – содержания Mo выше 0.005%. Максимальное значение для W составило 0.019%,

а для Mo – 0.010%, что соответственно в 190 и 100 раз выше фоновых.

Учитывая вышеизложенное, обрамление Артлышского массива обладает высокими перспективами на вольфрам и молибден. Предварительно данная W-Mo рудная минерализация может быть отнесена к жильному типу и генетически связана с залегающей на глубине интрузией кислого состава, апофизы которой отмечены в непосредственной близости от вершины г. Артлыш и южнее.

Кроме того, хорошие результаты получены и при изучении золотоносности углеродистых отложений в восточном обрамлении гранитной интрузии. Так, объект с повышенными содержаниями золота, приуроченный к терригенно-углеродистым образованиям бетринской свиты [5], установлен на юге в среднем течении ручья Тупаргас в 4.5 км выше его впадения в р. Бетеря. Содержания золота в углеродисто-сульфидных окварцованных сланцах по данным штучного опробования колеблются от 0.28 до 0.59 г/т. Опробование самих кварцевых жил показало довольно высокую их золотоносность. Во многих пробах золото содержится в количестве от 0.01 до 0.08 г/т. Однако в некоторых кварцевых жилах его концентрация возрастает до 0.23 г/т (руч. Саптарульган), 0.19 г/т (руч. Турыелга), 0.12 г/т (руч. Бзаубаш, р. Бетеря). Шлиховое опробование по этим водотокам показало наличие в русловом аллювии знаков золота. Наибольшее количество последнего установлено на руч. Большая Турыелга, дренирующего кварцевые жилы, приуроченные к терригенно-сланцевым толщам бетринской свиты и песчано-сланцевым отложениям зилаирской свиты. В устьевой части ручья на протяжении нескольких сот метров фиксируются промышленные концентрации шлихового золота в пределах 0.6–2.3 г/м<sup>3</sup>. Подобное пространственное совмещение благородной и редкометальной минерализации отмечалось нами и ранее, в частности, в пределах Башкирского мегантиклинория, Арамилско-Сухтелинской зоны, восточного фланга Магнитогорского мегасинклинория [6, 7].

Интрузивные тела кирябинского комплекса приурочены к северному замыканию зоны Уралтау (рис. 1). Габбро и ультрабазиты группируются в субширотной полосе, совпадающей с зоной Западно-Уралтауского надвига и ограниченной с востока Главным Уральским разломом [8]. Указанная полоса магматических тел прослеживается вдоль надвига на протяжении почти 15 км при ширине 4–5 км. Наиболее крупными магматическими телами, традиционно выделяемыми в составе кирябинского комплекса, являются **Кирябинский габбровый массив, Бирсинский и Абдулкасимовский ультрабазитовые массивы**. В дореволюционный период в пределах Кирябинского массива разрабатывались Кирябинское месторождение и Бирсинское проявление медных руд. В зоне богатых окисленных руд попутно извлекалось и золото. В гипербазитах альпинотипной формации, к которой принадлежат Бирсинский и Абдулкасимовский массивы, возможно выявления новых хромитовых проявлений [9].

Кирябинское месторождение меди расположено у юго-восточной окраины с. Кирябинское. По данным поисковых работ и нашим наблюдениям, Кирябинское медное месторождение приурочено к региональной субширотной зоне повышенной трещиноватости. Рудоносные габброиды в зоне приразломного динамотермального метаморфизма превращены в сланцы хлорит-актинолитового, слюдисто-хлорит-актинолитового, полевошпат-слюдисто-актинолитового состава.

Штуфное опробование медносulfидной минерализации позволило установить, что наиболее высокие содержания меди – 0.73% отмечены в отвале Кирябинского карьера и присущи кварцевым метасоматитам с вкрапленностью халькопирита, где выявлены и максимальные концентрации цинка – 0.11% и свинца – 0.045%. С генетической точки зрения рассматриваемую минерализацию можно отнести к гидротермальному классу месторождений с характерным трещинным контролем оруденения, сформировавшегося в результате активизации глубинного разлома.

Бирсинское рудопроявление меди расположено в 1.3 км южнее с. Кирябинское и приурочено к габброидам одноименного массива. Судя по составу сульфидной минерализации и особенностям ее локализации, Бирсинское рудопроявление является полным аналогом Кирябинского месторождения медных руд. Оно приурочено к той же тектонической зоне повышенного расщепления и связано пространственно и генетически с основными породами глубинного происхождения.

В процессе проведения исследований были проанализированы на благородные металлы измененные магматические породы, сульфидизированные метасоматиты и хромитовые руды. В окисленных пирит-халькопирит-ковеллиновых с борнитом, халькозином и медной зеленью рудах Кирябинского месторождения, приуроченных к апогаббровым эпидот-хлорит-актинолитовым сланцам, его содержания варьируют от 0.011–0.014 г/т до 0.1–0.28 г/т. В этих рудах обнаружено свободное золото очень мелких размеров. Поэтому неслучайно в окрестностях Кирябинского медного месторождения в близрасположенных водотоках встречены шлиховые знаки золота. Так, например, в шлихах отобранных из руслового аллювия рр. Киряба, Камышинка и Теплый Ключ, дренирующих габброидный массив, выявлены 2 знака золота. Золотины обычно неправильной формы, с неровной поверхностью, слабо окатанные и полукатанные размером от 0.075×0.125 до 0.2×0.4 мм. В верховьях Теплового Ключа золото обнаружено в шлиховой пробе из скважины ручного бурения, а в долине этого ключа к востоку от с. Кирябинское известны заброшенные старательские выработки, из которых когда-то добывалось золото (Козлов и др., 1964). Источником россыпного золота, по-видимому, служила золотоносная зона окисления Кирябинского медносulfидного месторождения.

Сульфидные руды Кирябинского медного месторождения практически не содержат элементы группы платины. Значащие цифры в пределах 10–15 мг/т получены только для платины. Сульфидные руды зоны окисления



также имеют незначительные концентрации платиноидов – 0.1–4.5 мг/т. Апогаббровые амфиболиты и аподиабазовые зеленые сланцы Кирыбинского массива имеют близкие к вышеуказанным значениям содержания платиноидов. В Абдулкасимовском дунит-гарцбургитовом массиве анализировались хромитовые руды одноименного проявления. Максимальные значения платиноидов в них получены лишь для Pt – 20 и Pd – 10–40 мг/т. Примечательно, что платина обнаружена во вмещающих дунитах, а палладий – преимущественно в хромитовых рудах. Близкие к выше указанным значениям содержания Pt и Pd установлены в хромитовых рудах Бурангуловского гипербазитового массива (зона Главного Уральского разлома), соответственно 15 и 20 мг/т. В целом хромитовые руды Абдулкасимовского и Бурангуловского массивов имеют Pt-Pd-ю легкоплавкую специализацию, что характерно для хромитовых руд, расположенных южнее Нуралинского гипербазитового массива и массивов Крака [10].

Таким образом, перспективы рудоносности интрузивных комплексов северной части зоны Уралтау связаны с тантал-ниобиевой редкометальной минерализацией, приуроченной к грейзенизированным гранитам и дайкам альбититов в юго-восточной части Бурангуловского массива; золото-редкометальным оруденением, связанным с интенсивно подробленными, окварцованными и сульфидизированными углеродистыми сланцами, широко представленными в северо-восточном обрамлении Артлышского гранитного массива, где выделены перспективные участки для проведения дополнительных поисковых и оценочных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.А. Магматические комплексы зоны хребта Урал-Тау. М.: Наука, 1976. 170 с.
2. Рыкус М.В., Сначёв В.И., Бажин Е.А. Анорогенные граниты западного склона Южного Урала: состав, петрогенезис, минерогения // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. № 5. С. 282–301.
3. Рыкус М.В., Сначёв В.И., Сначёв А.В. Золото в дислоцированных углеродистых толщах палео-

континентального сектора Южного Урала // Геологическая служба и горное дело Башкортостана на рубеже веков. Уфа: Тау, 2000. С. 179–191.

4. Артющкова О.В., Маслов В.А. Новые данные по корреляции девонских отложений на восточном борту Зилаирского мегасинклинория (Южный Урал) и некоторые проблемы реконструкции фациальных обстановок // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли. Екатеринбург, 2008. С. 35–38.

5. Рыкус М.В., Андреев Н.И., Муркин В.П., Маслов А.В., Сначёв В.И. Углеродистые отложения докембрия Южного Урала: препринт. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2005. 40 с.

6. Сначёв В.И., Пучков В.Н., Савельев Д.Е., Мосейчук В.М., Сначёв А.В., Шиянова А.А., Рыкус М.В. Рудоносность углеродистых отложений северной половины Маярдакского и Ямантауского антиклинориев // Геологический сборник № 6. Уфа: Дизайн-ПолиграфСервис, 2007. С. 227–232.

7. Сначёв А.В., Рыкус М.В., Сначёв В.И. Благородные металлы в углеродистых отложениях южной части Арамилско-Сухтелинской зоны // Геологический сборник № 3. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2003. С. 180–185.

8. Козлов В.И., Пацков А.А. Соотношение Башкирского мегантиклинория и антиклинория Урал-Тау на Южном Урале // Тектоника и магматизм Южного Урала. М.: Наука, 1974. С. 121–129.

9. Савельев Д.Е., Савельева Е.Н., Сначёв В.И., Романовская М.А. К проблеме генезиса хромитового оруденения в гипербазитах альпинотипной формации // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2006. № 6. С. 3–8.

10. Знаменский С.Е., Ковалев С.Г., Сначёв В.И., Даниленко С.А., Знаменская Н.М., Рачев П.И. Платиноносность гипербазитовых массивов Башкирской части зоны Главного Уральского разлома // Познание, освоение и сбережение недр Республики Башкортостан. Уфа: АН РБ, 1994. С. 57.

#### References

1. Alekseev A.A. Magmatic complexes of the Uraltau zone. Moscow, Nauka, 1976. 170 p.
2. Rykus M.V., Snachev V.I., Bazhin V.A. Anorogenic granites on the western slope of the South Urals: Composition, petrogenesis, minerogeny. Elektronnyy nauchnyy zhurnal Neftegazovoe delo, 2011, no. 5, pp. 282–301.
3. Rykus M.V., Snachev V.I., Snachev A.V. Gold in dislocated carbonaceous rocks of the palaeocontinental sector of the South Urals. Geologicheskaya sluzhba i gornoe delo Bashkortostana na rubezhe vekov. Ufa, Tau, 2000, pp. 179–191.
4. Artyushkova O.V., Maslov V.A. New data on correlation of the Devonian deposits in the eastern flank

of the Zilair Megasyntclinorium (South Urals) and some problems in reconstructing facies settings. *Tipy sedimentogeneza i litogeneza i ikh evolitsiya v istorii Zemli*. Ekaterinburg, 2008, pp. 35–38.

5. Rykus M.V., Andreev N.I., Murkin V.P., Maslov A.V., Snachev V.I. Precambrian carbonaceous deposits of the South Urals. Preprint. Ufa, IG UNTs RAN, 2005. 40 p.

6. Snachev V.I., Puchkov V.N., Savelyev D.E., Moseychuk V.M., Snachev A.V., Shiyanova A.A., Rukus M.V. Ore-bearing potential of carbonaceous deposits in the northern Mayardak and Yamantau Anticlinoria. *Geologicheskii sbornik No. 6*. Ufa, IG UNTs RAN, DizaynPoligrafServis, 2007, pp. 227–232.

7. Snachev A.V., Rukus M.V., Snachev V.I. Noble metals in carbonaceous deposits of the southern Aramil-

Sukhtelya zone. *Geologicheskii sbornik No. 3*. Ufa, IG UNTs RAN, Ufa, 2003, pp. 180–185.

8. Kozlov V.I., Patskov A.A. The relationship between the Bashkir Meganticlinorium and Uraltau Anticlinorium in the South Urals. *Tektonika i magmatizm Yuzhnogo Urala*. Moscow, Nauka, 1974, pp. 121–129.

9. Savelyev D.E., Savelyeva E.N., Snachev V.I., Romanovskaya M.A. On the genesis of chromite ores in hyperbasites of the Alpine type. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya*, 2006, no. 6, pp. 3–8.

10. Znamensky S.E., Kovalev S.G., Snachev V.I., Danilenko S.A., Znamenskaya N.M., Rachev P.I. Platinum-bearing potential of hyperbasite massifs in the Bashkir zone of the Main Uralian Thrust. *Poznanie, osvoenie i sberezhenie nedr Respubliki Bashkortostan*. Ufa, AN RB, 1994, p. 57.



## ORE-BEARING INTRUSIVE COMPLEXES IN THE NORTHERN URALTAU ZONE

© V. I. Snachev

Institute of Geology, Ufa Scientific Centre, RAS,  
16/2, ulitsa Karla Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

The article provides a brief review of the geological structure of the northern Uraltau zone. Among intrusive rocks developed in this zone, it highlights the Barangulovo gabbro-granitic, Artlysh granitic and Kiryabinskoe pyroxenite-gabbro complexes.

Within the southeastern part of the Barangulovo massif, there is an area promising for rare earth element mineralization with higher tantalum and niobium contents. It is shown that maximum values of rare metals are found in greisenised rocks. aplitic dykes and fluorite-albitite stocks.

Tungsten-molybdenum mineralization in the southern part of the area in question is associated with a large non-eroded intrusive felsic body, some of its parts being exposed as small stock-like outcrops of the Artlysh granitic massif. Rare metal mineralization established in intensely altered carbonaceous shales along the eastern margin can be attributed to the vein-stockwork type of W-Mo ores.

Analytical studies on metasomatic altered igneous rocks, copper and chromite ores of the Kiryabinskoe complex showed their weak specialization in gold and platinum group elements. Only disseminated pyrite-chalcopyrite ores of the Kiryabinskoe field that display appreciable signs of gold are of some interest making it reasonable to continue noble metal research in this area.

Key words: Uraltau zone, intrusive complexes, gold, copper, platinum group metals.

**ТРАДИЦИОННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУССКИХ БАШКОРТОСТАНА,  
СВЯЗАННЫЕ С ФИЗИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ РЕБЕНКА В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ**

© Ю.Г. Диникеева

Впервые предметом исследования становятся представления, обычаи, запреты и приметы русского населения Башкортостана, связанные с физическим развитием детей. На основе авторских полевых материалов выделены, по народным представлениям, важнейшие маркеры изменений в теле малыша: появление, а затем и смена молочных зубов, рост ногтей и волос. Они характеризуют не только состояние переходности от одного жизненного этапа к другому, но и взаимоотношения внутри семьи, между матерью и ребенком, общества и нового его члена. Исходя из принципа аналогии, становление у малыша ногтей более твердыми означало формирование настоящего человека. Чтобы не нарушить естественный ход развития, запрещалось отрезать ногти в течение первого года жизни ребенка (пока ногти не затвердеют); их можно было лишь откусывать, что и делали молодые мамы и близкие родственницы. По той же причине не отрезали волосы ребенка. Появление первых зубов свидетельствовало о «твердости» тела и связывалось со способностью употреблять «взрослую» пищу, соответственно, вхождением в общинную жизнь. Считалось крайне важным об изменениях в физическом развитии ребенка сообщить социуму в виде проведения обрядовых действий с приглашением гостей, произнесением благопожеланий, одариванием подарками, праздничными угощениями. Пограничное состояние в развитии ребенка фиксировалось с помощью частей дома, граничащих с остальным пространством (печь, подпол, лестница, позднее и плинтус). С целью облегчить переход из одного состояния в другое (прорезывание зубов), обращались к заговорам и молитвам. Некоторые приметы, связанные с переменами в физическом теле ребенка, порой носили иррациональный характер, что является типичным для традиционной культуры (прогноз о скором рождении еще одного ребенка в семье, если выпавший зуб первой увидит мать). Вслед за эволюцией народных представлений обычаи теряли сакральный смысл, обретали символическое значение (утилизация зубов, ногтей и волос).

Ключевые слова: традиционная культура русских, представления, обычаи, приметы, пострижение ногтей, волос, молочные зубы.

Анализ научной литературы показал наличие целого ряда этнографических исследований, посвященных родильной обрядности народов Урало-Поволжья в целом, обрядам и обычаям, связанным с физическим развитием малышей, в частности. О башкирах в данном аспекте писали Н.В. Бикбулатов и Ф.Ф. Фатыхова [1], Р.А. Султангареева [2], о марийцах – Т.Л. Молотова [3], о чувашах – О.В. Егорова [4] и И.Г. Петров [5], о татарах – Г.Б. Сайфутдинова [6] и др. Впервые объектом исследования обозначенной проблемы становится русское население региона. Ранее была изучена роль общества в процессе социализации ребенка [7], но не выявлены народные

представления о возрастных периодах малышей. Источниками для написания работы послужили научные публикации предшественников и полевые этнографические материалы автора, собранные в Бирском, Дуванском, Дюртюлинском, Караидельском и Краснокамском районах Республики Башкортостан. Сравнительный материал дали труды известных этнографов Д.К. Зеленина [8], А.К. Байбурина [9] и ряда других ученых о традиционной культуре восточных славян. В настоящей статье ставится цель показать традиционные представления, обычаи, запреты и приметы русского населения Башкортостана, связанные с физическим развитием (взрослением) ребен-

ка, а именно: ростом ногтей и волос, появлением зубов и сменой их постоянными.

Один из распространенных запретов связан с тем, что ногти новорожденного нужно не отрезать, а обкусывать [10], чтобы не нарушить естественный ход развития, возможно, также из-за боязни повредить пальчики острым предметом. Запрет на обрезание ногтей действовал и в течение первого года жизни малыша, пока его ногти оставались «мягонькими»: иначе «можно отрезать язык», и ребенок долго не будет говорить [9, с. 56]. Процедуру проделывали молодые мамы или старшие родственницы, которые занимались воспитанием и уходом за маленькими детьми. Ногти сплевывали, чаще всего сжигали в печи или бросали в подпол [10]. Когда ногти становились более твердыми, их обрезали и также сжигали, либо кидали «под лестницу, где никто не ходит» [10]. По сообщениям информантов, этот обычай сохранялся вплоть до 70–80-х гг. XX в., а некоторых семьях соблюдается и в настоящее время [10]. Он связан с верой в то, что ногти, волосы, зубы являются особенной, нетленной частью человеческого тела, обладают сакральным смыслом. Поэтому в народе сформировалось устойчивое представление о способах их хранения и утилизации, чтобы никто не мог навредить ребенку.

«Отверждение» ребенка, признак твердости/мягкости по отношению к новорожденному, по А.К. Байбуруну, является определяющим у восточных славян, где взросление мыслится как отверждение тела [9, с. 54–55]. С этим жизненным этапом связано появление первых зубов у ребенка, обычно в возрастном диапазоне от шести до девяти месяцев, иногда на втором году жизни у физически ослабленных детей [10]. Один из важнейших периодов перехода от младенчества к взрослости, «отверждению» подлежал обозначению в виде определенных действий, которые определяли функции и семантику временного и возрастного изменения. Сложилось поверье, что заметивший первый зуб у малыша готовит ему подарок, т.е. «дает на зубок» [10]. Даже мама, увидевшая молочный зуб, старалась

одарить младенца [10]. У башкир первый молочный зуб у ребенка должен был обнаружить кто-то из посторонних, и тот, кто находил, дарил ребенку платье или что-то из живности; по этому случаю собирали гостей и угощали [1, с. 108]. Среди чувашей человек, который первым замечал появление зуба, должен был подарить рубашку [5, с. 96–97]. У русских имелся обычай, согласно которому при появлении зуба («на зубок») крестная мать должна преподнести малышу подарок [10], позднее – серебряную ложку [10]. Традиция дарения серебряной ложки как оберега впоследствии заимствовалась башкирами, татарами и другими народами республики.

В русских селениях Башкортостана уже в начале XX в. подношение подарков практиковалось не всегда. В некоторых селениях это было обязательным делом (к примеру, Бирский р-н, с. Бурново), в других – по усмотрению людей и их материального благополучия (Дюртюлинский, Караидельский, Дуванский районы РБ). Повсеместно верили в приметы, связанные с тем, кто увидит первый зуб: если мать, то это означало, что в семье опять скоро будет ребенок [10]. Впрочем, аналогичные верования были и у других народов. Например, у чувашей считалось, что мать ребенка скоро опять родит, если у новорожденного зубы появлялись раньше обычного, т.е. через три или четыре месяца после рождения [3, с. 231].

Для облегчения боли от прорезывания зубов у детей десны смазывали медом. Зубную боль лечили и заговорами [10]. Для отвлечения от боли могли использовать шуточные заговоры: «*Зубы, твои зубы, Зубы твои ясные, Выпадают зубы, останьтесь одни десны*» [10]. Или такой заговор, записанный нами в Дуванском районе республики:

– *Месяц, Месяц, где ты был?*

– *На Ахунские горы ходил.*

– *Кого ты видел там?*

– *Покойничков.*

– *Не болят ли зубы у них?*

– *Нет, не болят.*

– *Также не болейте зубы у рабы (имя).*

*Аминь. Аминь. Аминь* [10].

Смена молочных зубов постоянными являлась новым важным этапом. У русских сохранилось несколько вариантов обряда с выпавшим зубом. Например, молочные зубы бросали за печь [10], придавая ей важное значение, ведь печь занимала исключительное место в системе народных обрядов, верований и представлений. Еще зубы отправляли в подпол (голбец), а позднее – за плинтус или в щели между половицами, могли бросать на полати или в любое «нехожалое место» [10], обозначающее границу между домом и остальным пространством. При этом использовалось обращение к мышке в различных вариациях: «*мышка, мышка, на тебе зуб репный, а мне дай костяной и крепкий*» [10]; «*на тебе зуб лубяной, а мне дай костяной*»; «*мышка, возьми старый зуб и дай новый*»; «*на тебе зуб репяной, а мне дай костяной*», «*вот тебе молочный зуб, дай мне зуб железный*» [10]. Еще одним способом было бросание зуба через плечо или голову со словами: «*мышка-мышка, поиграй и назад отдай*» [10]. Также выпавшие зубы могли складывать в банку, но это встречалось крайне редко. Здесь обращение к мышке связано с представлениями о том, что «зубы детям приносит мышь», а образ этого животного возникает в тех сюжетах, где речь идет о проявлении способностей человека или их лишении [9, с. 55–56]. Также существовала вера в крепость и неуязвимость зубов этого животного, которая имеет глубокие корни. У башкир, бросая в угол или подпол выпавшие зубы, приговаривали: «*Мышонку – мучной зуб, Сыну – железный зуб!*» [2, с. 93–94]. Чуваши отдавали выпавший зуб, спрятанный в хлебном мякише, собаке, чтобы зубы ребенка были крепкими, как у собаки [3, с. 232].

Как показал опрос, выпавшие зубы чаще бросали по направлению «вниз», в подпол, либо «вверх», например, на полати, за печь, также через плечо или голову. В одном населенном пункте могли встречаться различные способы, которые соблюдались и передавались молодому поколению от старшего. Заслуживает внимания информация, полученная от В.В. Пестеревой в Дуванском районе

республики, что если выпадали нижние молочные зубы у ребенка, то их бросали «кверху», через плечо, а если верхние – в «голбец». При этом говорили: «*Мышка, мышка, на тебе зуб репный, дай мне костяной*» [10]. То есть зуб как бы отправляли обратно в направлении его роста.

Наиболее сохранившимся у русских Башкортостана является запрет на пострижение волос в первый год жизни. Мотивировался он тем, что иначе ребенку можно «отрезать язык», т.е. ему трудно будет научиться говорить [8, с. 331]. Сегодня говорят, что нельзя стричь, чтобы не изменить судьбу, не навредить ребенку [10] или для того, чтобы волосы росли хорошо и были густыми. Данное объяснение встречается чаще.

Ранее у восточных славян пострижение волос проходило в рамках древнего обряда, который носил название *постриги, застрижки*. В конце XIX в. этот обряд совершался в Любенском уезде Полтавской губернии: в первую годовщину рождения ребенка его сажали на стол, причем мальчика на топор, чтобы он был искусен в ремесле, а девочку на коноплю, чтобы она выросла хорошей пряхой. Затем повитуха крестообразно выстригала волосы на голове ребенка, потом полностью состригала их и получала за это коноплю [8, с. 331]. А.К. Байбурин проводит народную интерпретацию о связи волос, языка, разума, судьбы [9, с. 56–57]. Отголоски традиционных представлений имеются в действиях, описанных информантом Л.П. Мольвой в Дюртюлинском районе. Сохраненные после первой стрижки волосы дети брали с собой при первом походе в школу «для приобретения счастья и благополучия», затем они сжигались [10].

Первый раз волосы состригали очень коротко, чаще «на гладко» [10]. Остриженные волосы малыша было принято хранить или сжигать в печи. По сведениям информантов, в некоторых семьях маленьким девочкам могли не стричь волосы, если с рождения были хорошие волосы [10]. В народе сохранилось представление, что волосы выбрасывать нельзя, так как они могут быть разнесены по

ветру, и из них птицы совьют гнездо. В таком случае у этого человека будет часто болеть голова. Данная примета бытует по сей день. У татар и башкир первородные волосы «способствовали сглазу ребенка», поэтому их остригали до истечения первых сорока дней. Отстриженные волосы также не выбрасывали, а хранили в специально сшитом мешочке. По мере накопления содержимое сжигалось, та же процедура совершалась в отношении волос и ногтей взрослых [6, с. 66].

Таким образом, физическое развитие ребенка, выражающееся в росте ногтей и волос, появлении первых зубов, смене молочных зубов постоянными, находилось под особым вниманием не только родителей малыша, но и окружения, ибо от его успехов зависело благополучие всего социума. Бытовали обычаи, запреты, приметы, характеризующие связь между этапами взросления малыша с его будущим, а также его близких, прежде всего, матери. Исследование показало, что многие представления об этих этапах развития ребенка сохраняются и сегодня, соблюдаются некоторые закреплённые действия. Волосы, ногти, зубы как части тела человека по-прежнему имеют сакральное значение, поэтому продолжают существовать связанные с ними обычаи. Как и ранее, подстригают или бреют детей только после одного года жизни, однако причины этого не выделяют. В большинстве случаев действия носят символический, а не магический характер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бикбулатов Н.В., Фатыхова Ф.Ф. Семейный быт башкир XIX–XX вв. М.: Наука, 1991. 189 с.
2. Султангареева Р.А. Жизнь человека в обряде: фольклорно-этнографическое исследование башкирских семейных обрядов. Уфа: Гилем, 2005. 344 с.
3. Молотова Т.Л. Родильные обряды // Марийцы. Историко-этнографические очерки. Йошкар-Ола: МарНИИЯЛИ, 2005. С. 173–180.
4. Егорова О.В. Этнография детства чувашей Волго-Уралья во второй половине XIX – первой трети XX вв.: традиционная родильная обрядность и социализация ребенка: дис. ... д-ра ист. наук. Чебоксары, 2010. 538 с.

5. Петров И.Г. Одежда в родинных обрядах чувашей: историко-этнографические очерки. СПб.: ООО «Свое издательство», 2015. 220 с.

6. Сайфутдинова Г.Б. Мир детства у татар: обряды и практики социализации: дис. ... канд. ист. наук. Казань, 2011. 261 с.

7. Галиева Ф.Г. Социализация детей в русских селениях Башкирии (вторая половина XIX – первая половина XX вв.) // Вестник Сургутского государственного педагогического университета. 2014. № 4(31). С. 291–296.

8. Зеленин Д.К. Восточнославянская этнография. М., 1991. 511 с.

9. Байбурин А.К. Ритуал в традиционной культуре: структурно-семиотический анализ восточнославянских обрядов. СПб.: Наука, 1993. 240 с.

10. Полевые материалы автора 2013–2015 гг. Бирский, Дуванский, Дюртюлинский, Караидельский, Краснокамский районы Республики Башкортостан.

#### References

1. Bikbulatov N.V., Fatykhova F.F. Family life of the Bashkirs in the 19th and 20th centuries. Moscow, Nauka, 1991, 189 p.
2. Sultangareeva S.A. Human life in rites and rituals: Folklore ethnographic research on the Bashkir family ceremonies, Gilem, 2005. 344 p.
3. Molotova T.L. Birth ceremonies. Mariytsy. Istoriko-etnograficheskie ocherki. Yuoshkar-Ola, MarNIYaLI, 2005, pp. 173–180.
4. Egorova O.V. Childhood ethnography of the Chuvashs in the Volga-Ural region in the second half of the 19th century and the first third of the 20th century: Traditional birth ceremonies and children's socialization. Dr. Sci. Thesis in History. Cheboksary, 2010. 538 p.
5. Petrov I.G. Clothes in birth ceremonies of the Chuvashs: Historical and ethnographic essays. St. Petersburg, ООО Svoe Izdatelstvo, 2015. 220 p.
6. Sayfutdinova G.B. The world of childhood among the Tatars: Socialization ceremonies and practices. Ph.D. Thesis in History. Kazan, 2011. 261 p.
7. Galieva F.G. Children's socialization in Russian settlements of Bashkiria (the second half of the 19th century and the first half of the 20th century). Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta, 2014, no. 4(31), pp. 291–296.
8. Zelenin D.K. East Slavic ethnography. Moscow, 1991. 511 p.
9. Bayburin A.K. Rituals in the traditional culture: Structural and semiotic analysis of the East Slavic ceremonies. St. Petersburg, Nauka, 1993. 240 p.
10. Author's field materials in 2013 to 2015. Birskiy, Duvanskiy, Dyurtyulinskiy, Karaidelskiy, and Krasnokamskiy districts of the Republic of Bashkortostan.



## **TRADITIONAL IDEAS AMONG RUSSIANS OF BASHKORTOSTAN ASSOCIATED WITH EARLY CHILDHOOD PHYSICAL DEVELOPMENT**

© **Yu.G. Dinikeeva**

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

It is for the first time that notions, customs, prohibitions and superstitions of the Russian population in Bashkortostan related to early childhood physical development become the subject matter for research. Based on the author's field materials, the most important markers are selected, according to popular notions, that indicate the changes in the baby's body. These are the appearance and replacement of primary teeth, nail and hair growth. They characterize not only the transition from one stage of life to another, but also the interrelationships within the family, between mother and her child, society and its new members. In accordance with the principle of analogy, nail hardening meant the formation of a real human being. It was forbidden to cut baby's nails during the first year of life (until they become hard) lest the natural course of development be disturbed. They might only be bitten off, the thing that was exactly made by young mothers and close female relatives. Baby hair was not cut off for the same reason. The appearance of the first teeth testified to the "hardness" of the body and was associated with the ability to eat "adult" food and correspondingly with the entry into community life. It was considered very important to inform the society about the changes in the physical development of a child, in the form of carrying out ritual actions, including guest invitations, good wishes, gifts, and festive meals. Transition periods in the development of a child were noted by means of the parts of the house bordering the rest of the space (furnace, cellar, stairs, and then the plinth). Spells and prayers were used to facilitate the transition from one state to another (teeth eruption). Sometimes the tokens associated with the physical changes in a child's body were of the irrational nature that is typical of the traditional culture (forecast about the forthcoming birth of another child in the family, if mother sees the lost tooth first). During the evolution of people's notions, customs have lost their sacredness and acquired symbolic meaning (disposal of lost teeth, cut hair and nails).

Key words: Russian traditional culture, notions, customs, tokens, nail and hair cutting, primary teeth.

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОЦИАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

© А.Ю. Гайфуллин

Рассмотрена социальная устойчивость территориального образования как условие развития социальной сферы, при котором обеспечивается ее устойчивое состояние, оптимальное удовлетворение потребностей, высокое качество жизни, создание условий для развития личности.

Раскрываются особенности понятия социальной устойчивости территориальных образований, многообразие подходов его определения. Предлагается социально-пространственный подход к определению данного понятия с позиций элиминирования угроз и рисков национальной безопасности.

На основе компаративного анализа социального развития страны и регионов, а также выявления доминирующих, в последние пять лет, тенденций, сформирована система оценки социальной устойчивости территорий. В разработанной системе выделены сферы социальной устойчивости: демографическая, политическая, образовательно-профессиональная, социальная защита, уровень и качество жизни.

Предложен инструментарий оценки социальной устойчивости территориального образования, основывающийся на расчете комплексного показателя социальной устойчивости. В рамках апробации инструментария оценки социальной устойчивости выявлены угрозы социальной устойчивости Республики Башкортостан.

Ключевые слова: социальная устойчивость, методика, оценка, регион, территориальное образование, класс социальной устойчивости, угрозы социальной устойчивости.

Социальная устойчивость любой территории является одной из актуальных проблем развития современного общества, так как от ее состояния зависит целостность и устойчивость функционирования и развития социума в целом, обеспечение защиты от угроз жизненно важных интересов человека и общества прежде всего в социальной сфере. Актуальность вопросов социальной устойчивости продиктована отмечающимся распространением в нашем обществе социальных угроз, связанных с такими факторами, как уровень жизни, уровень социальной защиты, смертность и сокращение продолжительности жизни, безработица, наркомания, пьянство, духовные ценности, экологическая обстановка и рядом других.

Анализ теоретических подходов социальной устойчивости позволяет сделать вывод об их некоторой ограниченности, поскольку основной акцент в них сделан на час-

тных аспектах устойчивости как социального феномена [1–5]. Понятие социальная устойчивость охватывает все сферы жизни общества и выходит за рамки исследования одного аспекта, поэтому целесообразно рассматривать его более широко [6].

**Социальная устойчивость территориальных образований.** В рамках разработки теоретико-методических основ исследования социальной устойчивости предлагается **социально-пространственный подход** к определению понятия «социальная устойчивость территориальных образований» с позиций элиминирования угроз и рисков национальной безопасности, в основе которого – интеграция «теории социального поля» П. Бурдьё [7] и «социального пространства» П. Сорокина [8]. Суть подхода заключается в рассмотрении территории как целого социального пространства, в котором устойчивость предполагает поддержание, во-первых, расширен-



ного воспроизводства его качественной определенности, и, во-вторых, баланса отношений между агентами территории на основе согласования их интересов.

С учетом этого под **социальной устойчивостью территориальных образований** понимается состояние элементов общества на определенной территории, обеспечивающее стабильность функционирования всей пространственной социальной системы и устойчивое положение ее агентов, противодействуя внешним и внутренним угрозам в длительной перспективе.

Основными критериями социальной устойчивости территории являются:

- 1) особенности географического положения территории;
- 2) показатели экономического развития территории;
- 3) ресурсы территории [3];
- 4) инфраструктура территории;
- 5) группа социальных показателей (показатели демографического развития, социальной защиты и состояния здоровья, уровня и качества жизни, социальной справедливости, образовательного и профессионального уровня, политической и социальной активности населения).

**Инструментарий оценки социальной устойчивости территориальных образований.** Для обеспечения социальной устойчивости территориальных образований необходимо иметь четкую методику оценки социальной устойчивости.

Нами предлагается выделить 5 сфер социальной устойчивости: демографическая ( $C_1$ ), политическая ( $C_2$ ), образовательно-профессиональная ( $C_3$ ), социальная защита ( $C_4$ ), уровень и качество жизни ( $C_5$ ). Основные показатели, характеризующие ту или иную сферу социальной устойчивости территориального образования, следующие.

**1. Демографическая составляющая социальной устойчивости территориального образования ( $C_1$ ):**

- коэффициент демографической нагрузки;
- коэффициент естественного прироста населения;

- ожидаемая продолжительность жизни при рождении;

- миграционный прирост.

**2. Политическая составляющая социальной устойчивости территориального образования ( $C_2$ ):**

- число общественных организаций на 10 000 чел.;

- явка избирателей на выборы;

- уровень удовлетворенности населения деятельностью органов местного самоуправления;

- уровень удовлетворенности населения информационной открытостью органов местного самоуправления [5, 6].

**3. Образовательно-профессиональная составляющая социальной устойчивости территориального образования ( $C_3$ ):**

- число обучающихся в вузах на 10 000 чел.;

- число обучающихся в ссузах на 10 000 чел.;

- численность экономически активного населения;

- уровень безработицы.

**4. Социальная защита ( $C_4$ ):**

- соотношение среднего размера начисленной пенсии к величине прожиточного минимума;

- доля граждан, пользующихся социальной поддержкой по оплате жилого помещения и коммунальных услуг;

- среднемесячный размер социальной поддержки на одного пользователя;

- доля семей, получивших субсидии на оплату жилого помещения и коммунальных услуг;

- соотношение среднего размера субсидии к величине прожиточного минимума.

**5. Уровень и качество жизни ( $C_5$ ):**

- доля населения с доходами меньше величины прожиточного минимума;

- соотношение показателя доходов населения к величине прожиточного минимума;

- общая площадь жилых помещений на 1 жителя;

- потребление продуктов питания на душу населения в год;

- уровень преступности (количество преступлений на 100 тыс. жителей);

- число наркопреступлений (число преступлений на 10 тыс. жителей);
- число преступлений, совершенных несовершеннолетними (число преступлений на 10 тыс. жителей) [2];
- обеспеченность врачами (число населения на 1 врача);
- обеспеченность средним медицинским персоналом (число населения на 1 ср. мед. работника);
- обеспеченность больничными койками;
- мощность амбулаторных поликлиник;
- заболеваемость на 1000 чел.;
- число спортивных сооружений;
- число посещений театров и музеев на 10 тыс. чел.

Предлагаемая методика оценки социальной устойчивости территориальных образований, включает следующие этапы.

1. Сбор исходной информации для расчета показателей.
2. Аналитическая обработка исходной информации и проверка ее на достоверность.
3. Расчет частных показателей социальной устойчивости в разрезе ее составляющих (демографическая ( $C_1$ ), политическая ( $C_2$ ), образовательно-профессиональная ( $C_3$ ), социальная защита ( $C_4$ ), уровень и качество жизни ( $C_5$ )).
4. Применение к показателям социальной устойчивости процедуры нормализации.

В случае если рост показателя оказывает положительное влияние на социальную устойчивость, процедура нормализации имеет вид:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}, \quad (1)$$

где  $x_{ij}$  – значение  $i$ -го показателя социальной устойчивости для  $j$ -го территориального образования;  $x_i^{\max}$ ,  $x_i^{\min}$  – максимальное и минимальное значение  $i$ -го показателя социальной устойчивости среди регионов Российской Федерации.

5. Расчет весовых коэффициентов значимости составляющих социальной устойчивости на основе экспертного опроса.

7. Расчет значений индикаторов социальной устойчивости после процедуры нормализации с учетом значимости показателей.

8. Расчет темпов роста индикаторов социальной устойчивости.

9. Расчет значений индикаторов социальной устойчивости с учетом темпов роста показателей.

10. Определение интегральных показателей социальной устойчивости и комплексного показателя социальной устойчивости территории.

11. Определение класса социальной устойчивости территории.

12. Анализ результатов оценки уровня социальной устойчивости территории и сравнение с передовыми территориями.

Расчет комплексного показателя социальной устойчивости для  $j$ -го территориального образования определяется по формуле:

$$C_j = C_{1j} + C_{2j} + C_{3j} + C_{4j} + C_{5j}, \quad (2)$$

где  $C_{1j}$ ,  $C_{2j}$ , ...,  $C_{5j}$  – интегральные значения индикаторов социальной устойчивости (по 5 сферам социальной устойчивости) с учетом темпов роста показателей.

Класс социальной устойчивости территории оценивается в соответствии со шкалой (табл.).

В таблице приведена также рекомендуемая стратегия социально-экономического развития территории исходя из класса социальной устойчивости.

Предложенный подход к оценке социальной устойчивости территориального образования имеет достаточно простую структуру и позволяет:

- 1) оценить комплексный показатель социальной устойчивости и степень кризисности ситуации;
- 2) отслеживать изменение комплексного показателя социальной устойчивости по направлениям воздействия отдельных показателей;
- 3) сравнивать территориальные образования по общему уровню социальной устойчивости.

Применение предложенного подхода, реализуемого в системе нормируемых показателей, придает обоснованность сделанным выводам.

Классы социальной устойчивости территориальных образований

| Значение С         | Класс социальной устойчивости      | Рекомендуемая стратегия социально-экономического развития   |
|--------------------|------------------------------------|---|
| $0.7 < C \leq 1$   | Высокая социальная устойчивость    | Корректировка ключевых показателей социальной устойчивости не требуется.<br>Необходимо удерживать имеющийся уровень социальной устойчивости на данном уровне, для чего необходимо максимально уменьшить влияние возможных угроз за счет имеющихся сильных сторон территории   |
| $0.5 < C \leq 0.7$ | Нормальная социальная устойчивость | Требуются незначительные корректировки по повышению ключевых показателей.<br>Необходимо удерживать уровень социальной устойчивости на данном уровне, а также необходимо постоянно отслеживать текущее социально-экономическое положение территории для повышения социальной устойчивости за счет работы над показателями, показавшими более низкое значение при произведенной оценке. |
| $0.3 < C \leq 0.5$ | Слабая социальная устойчивость     | Требуются корректирующие действия по улучшению ключевых показателей социальной устойчивости.<br>Для социальной устойчивости необходимо разработать меры, направленные на усиление составляющих социальной устойчивости и сохранение конкурентных преимуществ на основе имеющегося фундамента, а также внедрить механизм реагирования на угрозы  |
| $C \leq 0.3$       | Социальная неустойчивость          | Требуются кардинальные действия по улучшению ключевых показателей социальной устойчивости.<br>Необходима незамедлительная разработка корректирующих и компенсирующих мероприятий по повышению социальной устойчивости   |

**Угрозы социальной устойчивости территориальных образований.** Анализ социально-экономических показателей развития отдельных территориальных образований показывает, что ключевой **угрозой** социальной устойчивости территориальных образований в Российской Федерации является фактор низкого уровня прожиточного минимума и высокой поляризации населения по доступности социальных благ и материально-имущественным основаниям, что требует предоставление материальной и иной социальной помощи особо нуждающимся категориям граждан.

Одним из наиболее актуальных и значимых рисков для социальной устойчивости на рынке труда Республики Башкортостан является фактор низкого уровня оплаты труда. Средний уровень заработной платы в республике значительно отстает от среднероссийского. И хотя по Приволжскому федеральному округу Башкортостан занимает далеко не

последнее место, соседствующие с республикой субъекты, с сопоставимым социально-экономическим потенциалом, имеют более высокие показатели уровня заработной платы.

Значительную роль в формировании указанного фактора риска играют демографические процессы, происходящие на территории республики [9, 10]. Проблемы поддержания и развития социальной инфраструктуры сельских территорий ряда районов Башкортостана формируют миграционные потоки, направленные из сельской местности в крупные города республики. Кроме того, немаловажное значение имеет фактор расположения республики на пути входящего миграционного потока из стран ближнего зарубежья. Асимметрия территориальной инфраструктуры на рынке труда региона обуславливает высокий уровень реальной безработицы с одной стороны и формально высокое предложение низкооплачиваемых вакансий с другой.

Привлечения мигрантов на рынок труда Республики Башкортостан не решает проблемы эффективного спроса, поскольку значительная часть заработанных средств выводится мигрантами за пределы национальной и, в частности, региональной экономики. Таким образом, формируется угроза для устойчивости воспроизводства региональной социально-экономической системы.

Таким образом, социальная устойчивость территориального образования обеспечивается прежде всего эффективной социальной политикой, направленной на приведение к устойчивости социальных отношений и социального положения; поддержание и стимулирование социальной и экономической активности населения; социальную поддержку и защиту.

Для координирования угроз социальной устойчивости территориальных образований необходимо обеспечить в первую очередь безопасность личности путем повышения продолжительности и качества жизни, создания условий для личностного и духовно-культурного роста, нивелирования социального неравенства и обеспечения безопасности уровня жизни населения, общего уровня духовности и культуры в обществе.

*Данное исследование выполнено в рамках госзадания ИСЭИ УНЦ РАН по теме «2053–2014–0001 «Стратегическое управление ключевыми потенциалами развития разноразмерных социально-экономических систем с позиций обеспечения национальной безопасности» (№ гос. регистрации 01201456661).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гайфуллина М.М. Активизация инновационной деятельности как фактор устойчивого развития предприятия (на примере предприятий нефтегазового комплекса) // Нефтегазовое дело. 2012. 191 с.
2. Гайфуллин А.Ю. Отношение населения к правоохранительным органам как показатель социальной устойчивости регионального социума // Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России: Мат-лы VII Всероссийской научно-практической конферен-

ции с международным участием. В 2 ч. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2015. С. 40–43.

3. Гайфуллина М.М. Интегральный подход к оценке устойчивого развития предприятия // Вестник ВЭГУ. 2013. № 6. С. 27–35.

4. Галлямов Р.Р., Гайфуллин А.Ю. Этноконфессиональный аспект устойчивого развития регионов: уровень разработанности и направления исследований // Ноосферная парадигма модернизации экономики региона: возможности и реалии устойчивого развития: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции. Уфа: УГАЭС, 2015. С. 62–66.

5. Семенова Л.Г., Гайфуллин А.Ю. Информационная открытость власти как один из факторов социальной безопасности территории // Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России: Мат-лы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 3 ч. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2016. С. 167–171.

6. Комплексная методика диагностики социально-демографической безопасности региона / А.И. Татarkin и др. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2007. 155 с.

7. Социоанализ Пьера Бурдьё // Альм. рос.- фр. центра социологии и филологии Ин-та социологии РАН. М.: СПб.: Алетейя, 2001. 285 с.

8. Социология социального пространства / пер. с фр.; общ. ред. и послесл. Н.А. Шматко. М.: Институт экспериментальной социологии; СПб.: Алетейя, 2005. 288 с.

9. Гайфуллин А.Ю., Рыбалко Н.В. Социальная активность молодежи: оценка и пути повышения // Вестник Башкирского университета. 2011. Т. 16, № 4. С. 1392–1396.

10. Гайфуллин А.Ю., Рыбалко Н.В. Диагностика развития политической активности молодежи // Вестник ВЭГУ. 2011. № 6. С. 12–18.

#### References

1. Gayfullina M.M. Intensification of innovative activity as a factor of sustainable development of an enterprise (with oil and gas enterprises taken as an example). Monograph. Ufa, Neftegazovoe delo, 2012. 191 p.
2. Gayfullin A.Yu. People's attitude to law-enforcement authorities as the social stability index of regional social medium. Innovatsionnye tekhnologii upravleniya sotsialno-ekonomicheskim razvitiem regionov Rossii. Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. In 2 parts. Ufa, ISEI UNTs RAN, 2015, pp. 40–43.

3. Gayfullina M.M. Integrated approach to assessing sustainable development of an enterprise. *Vestnik VEGU*, 2013, no. 6, pp. 27–35.

4. Gallyamov R.R., Gayfullin A.Yu. Ethno-confessional aspect of sustainable development of the regions: The level of research development and trends. *Noosfernaya paradigma modernizatsii ekonomiki regiona: vozmozhnosti i realii ustoychivogo razvitiya. Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ufa, UGAES, 2015, pp. 62–66.

5. Semenova L.G., Gayfullin A.Yu. Information transparency of government as one of the factors of the territory's social security. *Innovatsionnye tekhnologii upravleniya sotsialno-ekonomicheskim razvitiem regionov Rossii. Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. In 3 parts. Ufa, ISEI UNTs RAN, 2016, pp. 167–171.

6. Integrated methods for detection of socio-demographic security of the region. *Collective*

*monograph*. A.I. Tatarkin, A.A. Kuklin (eds.). Ekaterinburg, Institut ekonomiki UrO RAN, 2007. 155 p.

7. Pierre Bourdieu's sociological analysis. *Almanakh rossiysko-frantsuzskogo tsentra sotsiologii i filologii Instituta sotsiologii RAN*. N.A. Shmatko (Editor-in-Chief). Moscow, St. Petersburg, Aleteya, 2001. 285 p.

8. *Sociologie de l'espace social*. Translated from French. N.A. Shmatko (ed., author of introduction). In 2 volumes. Moscow, Institut eksperimentalnoy sotsiologii; St. Petersburg, Aleteya, 2005.

9. Gayfullin A.Yu., Rybalko N.V. Social activity of the youth: Assessment and ways of enhancement. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2011, vol. 16, no. 4, pp. 1392–1396.

10. Gayfullin A.Yu., Rybalko N.V. Detecting the development of political activity of the youth. *Vestnik VEGU*, 2011, no. 6, pp. 12–18.

---

## METHODICAL APPROACH TO ASSESSING SOCIAL STABILITY OF TERRITORIAL UNITS

© A.Yu. Gayfullin

Institute for Social and Economic Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The paper considers social stability of the territorial unit as the condition for the development of the social sector that ensures its sustainability, optimal satisfaction of needs, high quality of life, and creation of conditions favourable to the development of a person.

It reveals peculiar features of the concept of social stability in the territorial units and a variety of approaches to its definition. A socio-spatial approach is proposed to define this concept in the context of elimination of national security threats and risks.

A system for assessing social stability of the territorial units has been created based on the comparative analysis of social development of the country and its regions as well as identification of the trends prevailing over the past five years. The developed system includes the following aspects of social stability: demographic, political, educational and professional, social protection, standard and quality of life.

The tools have been designed for assessing social stability of the territorial units based on calculation of its integrated indicator. In order to approbate the assessment tools, the threats to social stability in the Republic of Bashkortostan have been determined.

Key words: social stability, techniques, assessment, region, territorial unit, class of social stability, threat to social stability.

УДК 821.512.141.09(470.57)+821(4/9)09

**АРАБО-ТЮРКО-МУСУЛЬМАНСКАЯ ЛИТЕРАТУРА  
УРАЛО-ПОВОЛЖСКОГО РЕГИОНА:  
К ПРОБЛЕМЕ ИЗУЧЕНИЯ И АКТУАЛЬНОСТИ ТЕМЫ**

© **Ф.Ш. Сибгатов**

Посвящена исследованию влияния арабо-тюрко-мусульманских культурных традиций на литературу тюркоязычных народов Урало-Поволжского региона, прежде всего башкир и татар, который представляет собой интересное явление. Это своего рода синтез исконно национальных, восточных (арабо-мусульманских) и западных литературно-культурных традиций. При комплексном изучении национальных культур и литератур необходимо учитывать все вышеуказанные факторы. Если в исследованиях прежних лет развитие национальных литератур рассматривалось с точки зрения евроцентризма, то с конца XX в. начали уделять внимание и его восточным корням. Проведенные исследования показывают, что традиционная мусульманская культура региона представляет собой симбиозную систему, которая сформировалась на основе этнического и исламского составляющего.

Ключевые слова: башкирская литература, ислам, сюжет, традиция, структура, суфизм, Урало-Поволжский регион.

Литература тюркоязычных народов Урало-Поволжского региона, прежде всего башкир и татар, представляет собой интересное явление. Это своего рода синтез исконно национальных, восточных (арабо-мусульманских) и позднее – русской (через нее и западной) культур. При комплексном изучении национальных культур и литератур необходимо учитывать все вышеуказанные факторы. Если в исследованиях прежних лет развитие национальных литератур рассматривалось с точки зрения евроцентризма, то с конца XX в. начали уделять внимание и его восточным корням.

В башкирском литературоведении до последнего времени по данной теме не было опубликовано ни одной работы, достаточно охватывающей данную проблему. В то же время при изучении отдельных этапов развития национальной литературы и творчества писателей эти вопросы в той или иной

степени рассматривались в трудах А. Харисова, Г.Б. Хусаинова, Р.Н. Баймова, Г.С. Кунафина [1] и др. Специальными исследованиями в этой области можно назвать публикации Ф.Ш. Сибгатова, посвященные изучению духовной литературы башкирского народа [2, 3]. Между тем влияние арабо-мусульманских традиций (коранических и религиозных мотивов) на развитие национальной литературы не оценимо, и это требует серьезного анализа и осмысления.

Здесь мы можем провести параллель с русской культурой – именно принятие славянами христианства способствовало распространению кириллицы. «Письменность и литература пришли на Русь вместе с принятием христианства. На первых порах книжники – как византийские и болгарские миссионеры, так и их русские ученики и сподвижники, – считали своей основной задачей пропаганду новой религии и обеспечение

строившихся на Руси церквей книгами, необходимыми для богослужениями. Кроме того, христианизация Руси повлекла за собой коренную перестройку мировоззрения. Прежние языческие представления о происхождении и устройстве вселенной или об истории человечества были отвергнуты, и Русь остро нуждалась в литературе, которая излагала бы христианскую концепцию всемирной истории, объясняла бы космогонические проблемы, давало бы иное, христианское, объяснение явлениям природы и т.д.», – писал О.В. Творогов в фундаментальном труде «История русской литературы» [4, с. 19].

Общеизвестно, что с принятием христианства язычество переставало существовать как религия, а Русь остро нуждалась в новой по содержанию литературе, которая могла бы пропагандировать христианскую концепцию всемирной истории.

Таким образом, распространение мировых религий, в том числе и ислама, оказывало влияние не только на процесс духовного единения народа, но и народов разных национальностей в одну общину. Например, в мусульманскую общину – умму. Кроме того, в Урало-Поволжском регионе именно ислам являлся и является сегодня той основой, на идеях которого объединяются некоторые этносы.

Степень влияния ислама и исламской культуры (арабо-мусульманской, тюрко-мусульманской) на развитие литератур Урало-Поволжского региона еще не до конца разработана в национальных литературоведениях. Вследствие чего исследование сюжетно-композиционных, тематико-содержательных особенностей коранических сказаний, влияние поэтики Корана на литературный процесс как в целом, так и по периодам времени, является весьма актуальной проблемой. Ведь именно на их основе возник-

ла и получила широкое распространение мусульманская культура, получившая свое первоначальное распространение на обширной, населенной разными народами территории и объединенная мусульманской религией и арабским языком.

Изучение влияния арабо-мусульманской культуры актуально и тем, что подобное исследование поможет полнее раскрыть национальную культуру, менталитет и особенности мышления, т.е. концептосферу. Академик Д.С. Лихачев в понятие «концептосфера» включает такие компоненты, как история этноса, культура, язык, литература, фольклор, религия, обычаи и особенности мышления. В свою очередь, она отражает и лингвопсихологическую категорию, которая напрямую выходит и на особенности мышления сообщества и индивида. Таким образом, мировосприятие верующего будет отличаться от мышления атеиста, который на уровне подсознания, архетипов и символов понимает то, что для непосвященного с первого раза будет казаться обычным текстом. Например, у современного читателя возникают сложности при восприятии суфизма и суфийской литературы. Они заключаются в том, что в суфизме в большей степени наблюдается влияние мистицизма. Как писал П.С. Гуревич, сущность мистического мироощущения сводится в общем к представлению о двойственности мира. За привычным, каждодневным угадывается иное бытие. Стремление вступить в прямой контакт со сверхъестественным и выражает, по существу, психологическую основу мистики. В этом смысле мистика древнее религии. Она составляет базу почти всех без исключения религий [5].

Ислам, возникший в VII в. на Аравийском полуострове, быстро распространился на обширной территории: в VII–VIII вв. с новой религией познакомилось население

Африки и Европы, а к IX–X вв. она дошла и до Урало-Поволжья. По преданиям, первым принял его болгарский хан Алмуш (Алмус). Позднее эта тема нашла широкое отражение в тюрко-мусульманской литературе региона. «Легенда, записанная еще в XII в., имела в башкирской и татарской литературах долгую историю и создала своеобразную традицию. Если в одном случае она продолжала существовать в рукописной и печатной формах, вошла в книги Хисаметдина Муслими, Таджетдина Ялсыгула, Гали Сокрыя под одноименным названием «Тауарих-и Булгарийа», то в другом случае жила в устных преданиях» [6, с. 12].

Знакомство и принятие башкирами ислама, скорее всего, также относится к этому времени. Некоторая информация содержится в записях Ахмада ибн Фадлана, секретаря Посольства багдадского халифа ал-Муктадира, прибывшего в Булгар в 921–922 гг. со специальной миссией. Основываясь на труде А.П. Ковалевского, можно сделать вывод, что башкиры уже тогда в некоторой степени были знакомы с постулатами ислама и Корана. «Ибн Фадлан рассказывает, что у них имелись две отличные друг от друга системы религиозных представлений. Одни из башкир считали, что миром управляет верховный бог неба в согласии с двенадцатью богами, ведавшими отдельными явлениями природы. Как видно из контекста, Ибн Фадлан узнал об этой системе верований из личной беседы (через переводчика, конечно) с одним из башкир. Конец его рассказа предполагает, что он вступил с этим башкиром даже своего рода в диспут по вопросу единобожия. Какая именно часть башкир держалась данной религиозной системы, Ибн Фадлан не уточняет. Он сообщает лишь неопределенно: «кое-кто из них говорит...». Зато о второй категории более примитивных верова-

ний он точно сообщает...» [7, с. 26]. Далее ученый поясняет, что здесь, скорее всего, изложена внутренняя полемика по поводу многобожия, изложенная в сурах 17 и 21 Корана [7, с. 193].

Однако в записях Ахмада ибн Фадлана о других народах, с которыми он встречался во время путешествия, наблюдается предвзятое мнение. Скорее всего, это было связано именно с религией и иным представлением о культуре. Для него все народы, не принявшие ислам, были язычниками и дикарями. В то же время известный русский археолог С.А. Плетнева о башкирах VIII–XIV вв. писала: «Другой пример – высоко развитые культуры прабашкир, близкие по общему уровню развития к культурам соседних государств. Как и аланы, они имели глубокие корни в древности и традиции их сохранились до наших дней. Объяснить жизнестойкость силу культур этих, по-видимому, следует ранним оседанием этих кочевников и тесным слиянием их оседлыми местными племенами. Развитие их текло по определенному руслу, и никакие катаклизмы не могли уничтожить эти вполне сложившиеся степные цивилизации. Политическое подчинение народа какому бы не было государству не могло существенно изменить многовековые культурные традиции» [8, с. 238–239].

Впоследствии эти исконно национальные культурные традиции плавно интегрировались с основными постулатами и культурой ислама. В то же время быстрое и широкое распространение ислама и арабомусульманской культуры произошло благодаря не самой религии (постулатов, внешних атрибутов), а именно культуры в широком смысле этого слова. Как писал академик В.В. Бартольд, «... успех арабского языка объясняется прежде всего тем, что арабы с самого начала не опирались только на силу



оружия и военной организации, как германцы, монголы и в древности персы. Арабский народ уже к VII в. достиг некоторой духовной культуры, выработал литературный язык и высоко ставил красноречие и поэзию» [9, с. 45]. Ученый большую роль в культурно-историческом процессе видел в культурных заимствованиях и духовном обмене между народами. Именно сравнение дает возможность понять уровень развития культуры и литературы, стимулирует дальнейший духовный и материальный рост. Башкирский народ создал такие эпосы, как «Урал батыр», «Акбузат», «Куыр буа» и др., кубаиры, восхваляющие свой родной Урал и его природу, и другие фольклорные произведения. В них преобладает тема родной земли и защита его от захватчиков. В то же время в народном творчестве почти отсутствуют произведения романтического, любовного и авантюрного характера. Поэтому, например, распространение среди народов Урало-Поволжья, в том числе и среди башкир, за сравнительно короткое время таких сюжетов, как серия кисса о Гали-батыре, «Лейла и Меджнун», «Юсуф и Зулейха», арабских сказок «Тысяча и одна ночь», «Шах-намэ» Фирдоуси и других, на наш взгляд, в конечном итоге было связано именно с распространением ислама. Т.е. они заполняли определенный художественный вакуум. В дальнейшем эти произведения сами стали получать местные версии, которые еще более закрепляли идеи мусульманства среди народов региона.

Социально-культурную жизнь народов Ближнего и Среднего Востока, Средней Азии, Казахстана и Урало-Поволжского региона, особенно литературу и философию, невозможно представить и понять без выяснения роли и места суфизма.

Как известно, суфизм представляет собой сложное и иногда даже противоречивое

явление. Кроме ислама, на его формирование в той или иной степени оказали влияние неоплатонизм, христианство, иудаизм, зороастризм и даже древнеиндийская философия. К XIX–XII вв. в философском плане суфизм получил более четкое оформление, которое в основном сводилось к «вахдат алмауджуд» (монистическому отождествлению Бога со всем, что сотворено им) или к «вахдат ал-вуджуд» (пантеистическому распространению Бога во всем сущем). В социальном плане суфии проповедовали равенство всех людей как потенциально несущих в равной мере в себе божественное начало. Среди башкир наибольшее распространение получили идеи пантеизма, которые были во многом ближе мировосприятию народа.

Суфизм многообразным и многоликим явлением гармонично вошел в духовную, культурную и социальную жизнь мусульманских народов с первых веков своего возникновения, оказав огромное влияние на выше-названные сферы. Глубоко проник суфизм в литературу, особенно в поэзию. В мировой литературе широко известны имена таких поэтов, как Аттар, Джалал ад-Дин Руми, Хафиз, Джами и др.

Широкому распространению идей суфизма и суфийской литературы способствовало то, что они опирались на народные традиции и писали на доступном простом слушателю языке. Поэты всегда проповедовали слушателям любовь к ближнему, призывали ко взаимной поддержке и к нравственному очищению. Таким образом, без тщательного изучения суфийской литературы невозможно получить полное представление о культурной жизни и литературе не только средневекового мусульманского Востока, но и национальных литератур более поздних веков. Суфийская литература оказывала влияние на литературу мусульманских народов Урало-Поволжья вплоть до начала

XX в. (Ш. Бабич, М. Гафури). Значимость этой проблемы определяется и тем, что почти все крупнейшие поэты и мыслители, за редким исключением, так или иначе были связаны с суфизмом.

Любовь к Богу и охваченный этой любовью человек являются основными образами в суфийской мистике. «... Нужно стараться подготовить себя к тому, чтобы познать Любовь и познакомиться со стоянками и степенями влюбленных, и вручить себя Любви, а после этого увидеть нечто удивительное. Мир Любви – вершина познания Бога и любого влечения. Достигший его будет самым великим из сверхзнающих людей и совершенных мистических теософов» [10, с. 15].

В отличии от суфизма Ближнего и Среднего Востока, где в качестве текста использовались даже стихи эротического характера (гетера Рабиа), подобная тенденция полностью отсутствовала среди суфиев Урало-Поволжья. Особенностью поэзии нашего региона являлось то, что пламенные любовные чувства были адресованы к Богу, но в то же время их трудно было отличить от произведений любовного характера, ибо в суфийской поэзии тема любви к красавице интерпретировалась как любовь к Богу – воплощению абсолютной красоты. Подобная художественно-философская традиция часто находит отражение в творчестве таких башкирских поэтов, как Ш. Заки, Х. Салихов и др.

Из суфийских орденов широкое распространение в регионе получил таррикат нак-шбандия, основанный Баха ад-Дином Нак-шбанди Бухари (1314–1389), доктрина которого вполне укладывалась в рамки правоверного ислама. Следуя принципу стремления точного воспроизведения жизни Мухаммада, Накшбанди Бухари в основу учения берет требование добровольной

нищеты (факр). В отличие от других суфийских таррикатов, это означало жить не только на подаяния, дозволенным пропитанием считалось лишь то, что было заработано трудом его собственных рук. Кроме того, они осуждали фанатизм, жадность и лицемерие, присущее некоторым представителям духовенства. От дервиша не требовалось его ухода из общества. Накшбанди так формулировал свое требование: «Уединение в обществе, странствие на родине, внешне – с людьми, внутренне – с Богом».

Последователями учения были многие известные ученые и поэты Средневековья: Джамии (1414–1492), Алишер Навои (1441–1501) и др. Крупнейшим его представителем в Урало-Поволжском регионе конца XIX – начала XX в. был Зайнулла Расулев (1833–1917). Огромную популярность приобрело основанное им медресе «Расулия» в городе Троицке, где получили образование многие общественные деятели, поэты и писатели. Необходимо подчеркнуть, что последователями учения были люди среднего достатка, ибо учение требовало не только заниматься религиозной практикой, но и трудиться, чтобы прокормить себя и семью.

Как известно, в арабо-персидской культуре широко распространена традиция чтения нараспев, которая своими корнями уходит в более ранние времена. Например, некоторые зороастрийские тексты читались нараспев. Схожую традицию наблюдаем и в бедуинской поэзии. Некоторые суры Корана также читают нараспев, например, «ал-Мулюк» («Табарак»). В то же время подобный прием чтения связан не столько с художественными или культурными традициями, а больше с психологическими соображениями – текст легче и подсознательно воспринимался слушателями и лучше запоминался. Позднее данная традиция была с успехом применена суфийскими наставниками, но

уже с использованием музыки. Башкирские сэсэнны также читали свои кубаиры и айтышы нараспев под аккомпанемент домбры. Таким образом, музыка являлась тем средством, при помощи которого основная идея текста (стиха) действовала на слушателя еще глубже, на подсознательном уровне. Потому что человек, слушая приятные мелодии, расслабляется, перестает быть скованным, его сознание освобождается от обыденных проблем и полнее воспринимает свежую информацию.

Традиция чтения текстов нараспев сохранилась в Урало-Поволжском регионе и по сей день. Читают нараспев, например, такие произведения средневековой литературы, как «Йософ китабы», «Мухаммадия» и др. В 20-е гг. XX в. большевики-мусульмане также активно использовали эту технику. Например, «Новая Мухаммадия» Булата Ишемгулова.

Таким образом, на примере башкирских поэтов и писателей начала XX в. можно констатировать, что традиционная мусульманская культура народа представляет собой симбиозную систему, которая сформировалась на основе этнического и исламского составляющего.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кунафин Г.С. Особенности развития башкирской литературы XIX – начала XX века. Уфа: Полиграфкомбинат, 2014.
2. Сибатов Ф.Ш. Духовная литература башкирского народа. Уфа: Гилем, 2015.
3. Сибатов Ф.Ш. Арабо-мусульманские жанры религиозного характера в башкирской литературе // Вестник Башкирского университета. 2010. Т. 15, № 3(1). С. 1003–1004.
4. Творогов О.В. Литература Киевской Руси X – начала XII века // История русской литературы. В 4 т. Т. 1. Л., 1980.

5. Гуревич П.С. Культурология: учебное пособие. М., 1996.

6. Хусаинов Г.Б. Башкирская литература XII–XVIII вв. Уфа: Гилем, 1996.

7. Ковалевский А.П. Книга Ахмеда Ибн Фадлана о его путешествии на Волгу в 921–922 гг. Харьков, 1956.

8. Плетнева С.А. Заключение // Археология СССР. Степи Евразии в эпоху средневековья. М., 1981.

9. Бартольд В.В. Туркестан в эпоху монгольского нашествия // Собр. соч. В 9 т. Т. 1. М., 1963.

10. Дроздов В.А. Исламский мистицизм и его влияние на население СНГ. СПб., 1995.

#### References

1. Kunafin G.S. Peculiar features in the development of the Bashkir literature in the 19th and early 20th centuries. Ufa, Poligrafkombinat, 2014.
2. Sibagatov F.Sh. Spiritual literature of the Bashkir people. Ufa, Gilem, 2015. 152 p.
3. Sibagatov F.Sh. Arabo-Islamic religious genres in Bashkir literature. Vestnik BashGU, 2010, no. 3 (1), vol. 15, pp. 1003–1004.
4. Tvorogov O.V. Literature of Kievan Rus in the 10th to the early 12th centuries. Istoriya russkoy literatury. In 4 volumes. Vol. 1. Leningrad, 1980.
5. Gurevich P.S. Cultural studies. Training manual. Moscow, 1996.
6. Khusainov G.B. Bashkir literature of the 12th to 18th centuries. Ufa, Gilem, 1996
7. Kovalevsky A.P. The book of Ahmad ibn Fadlan about his travel to the Volga River in 921–922. Kharkov, 1956.
8. Pletneva S.A. Conclusion. Arkheologiya SSSR. Stepi Evrazii v epokhu srednevekovya. Moscow, 1981.
9. Bartold V.V. Turkestan during the Mongol invasion. Collected works in 9 volumes. Vol. 1. Moscow, 1963.
10. Drozdov V.A. Islamic mysticism and its impact on the peoples of the CIS. St. Petersburg, 1995.



**TURCO-ARABIC ISLAMIC LITERATURE OF THE VOLGA-URAL REGION.  
Research and Relevance of the Topic**

© **F.Sh. Sibagatov**

Bashkir State University,  
32, ulitsa Zaki Validi, 450074, Ufa, Russian Federation

The article investigates an interesting phenomenon relating to the impact of the Turco-Arabic Islamic cultural traditions on the literature of Turkic-speaking peoples of the Volga-Ural region, especially the Bashkirs and Tatars. It is a kind of synthesis between genuinely national Oriental (Arabo-Islamic) and Western literary and cultural traditions. The comprehensive study of national cultures and literatures should take into account all the factors mentioned above. Earlier studies considered the development of national literatures from the Eurocentric standpoint, and it was only since the late 20th century that scholars began to pay attention to their Oriental roots. Our studies show that traditional Muslim culture of the region is a symbiotic system formed on the basis of ethnic and Islamic components.

Key words: Bashkir literature, Islam, narrative, tradition, structure, Sufism, Volga-Ural region.