

# СОДЕРЖАНИЕ

2017. № 4

## МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

- В.В. Напалков (мл.), А.У. Муллабаева*  
Решение задачи Шапиро для оператора свертки ..... 5

## ФИЗИКА

- Д.Д. Карамов, В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, Е.Ю. Боровикова*  
Влияние термообработки на качество и структуру субмикронных полимерных пленок ..... 12
- Г.Л. Шарипов, А.А. Тухбатуллин*  
Триболоминесцентные сенсоры ударов и разломов ..... 17
- Н.В. Шульга, Р.А. Дорошенко*  
Резонансная восприимчивость двухслойной обменно-связанной ферромагнитной пленки с комбинированной одноосной и кубической анизотропией при наклонном намагничивании ..... 21
- Д.Д. Карамов, Д.А. Киселев, М.Д. Малинкович, В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, Р.М. Гадиев*  
Атомарно гладкая поверхность и поверхностная поляризация субмикронных пленок полидифениленфталида ..... 26

## ХИМИЯ

- Р.А. Зильберг, Л.Р. Кабирова, Ю.А. Яркаева, А.В. Сидельников, В.Н. Майстренко, В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов*  
Распознавание пропранолола по производителю с использованием стеклоглеродных электродов, модифицированных композитами на основе полиарилефталидной пленки, меламин и циануровой кислоты ..... 33
- Г.В. Рыбакова*  
Формирование экологической культуры студентов в техническом вузе ..... 41
- З.С. Кинзябаева, Г.Л. Шарипов*  
Синтез диоксанового производного  $C_{70}$  в гетерогенной реакции фуллерена с этиленгликолем под действием ультразвука ..... 46

## БИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И ГЕНЕТИКА

С.Г. Ржевский, В.А. Агафонов, А.А. Мальцева, А.А. Верлина, А.В. Фалалеев, Х.С. Шихалиев Сравнительный анализ эфирного масла <i>Artemisia absinthium</i> , <i>Artemisia armeniaca</i> и <i>Artemisia latifolia</i> .....	51
Ф.К. Мурзабулатова, Н.В. Полякова Интродукция представителей рода <i>Weigela</i> Thunb. и перспективы использования их в городском озеленении .....	57
Л.Н. Миронова, И.Н. Аллаярова Биология цветения и семенная продуктивность колокольчиков в условиях Южного Урала .....	63
Л.А. Тухватуллина, Л.М. Абрамова Биологически активные вещества в некоторых видах рода <i>Allium</i> L. в условиях культуры .....	69
Л.Н. Миронова, С.Ф. Давлетбаева Интродукция <i>Hosta undulata</i> в условиях лесостепной зоны Башкирского Предуралья ....	72
В.А. Михайлова, Л.М. Абрамова, Я.М. Голованов К растительности оврагов Башкирского Предуралья .....	78
У.Б. Юнусбаев, Р.Р. Валиев, Б.Б. Юнусбаев Анализ азиатского компонента генома тюркоязычных народов Поволжья и Центральной Азии методом проекции на оси главных компонент .....	83
Ф.Р. Гималов, Д.С. Фарафонов Метилирование ДНК растений в связи с устойчивостью к стрессовым факторам среды .....	89
С.А. Башкатов, Ю.М. Сотникова Характеристики субъективного благополучия, ассоциированные с показателями амплитуды вызванных потенциалов зрительного анализатора .....	95

## ИСТОРИЯ, АРХЕОЛОГИЯ, ЭТНОЛОГИЯ

А.Г. Колонских, А.И. Тузбеков К проблеме локализации Андреевского городища в Илишевском районе Республики Башкортостан .....	100
А.Б. Юнусова Автономия башкирского ислама: к 100-летию Духовного управления мусульман Башкортостана .....	105
А.Г. Баимов, Р.М. Мухаметзянова-Дуггал, Т.М. Надыршин, А.И. Тузбеков, А.Б. Юнусова Социальные ожидания сельского населения Южного Урала в связи с реализацией инвестиционных проектов АПК .....	117

# CONTENTS

---

---

2017. № 4

---

---

## MATHENATICS AND MECHANICS

- V.V. Napalkov (Jr.), A.U. Mullabaeva*  
Solution of the Shapiro problem for convolution operator ..... 5

## PHYSICS

- D.D. Karamov, V.M. Kornilov, A.N. Lachinov, E.Yu. Borovikova*  
Influence of thermal processing on quality and structure of submicron polymer films ..... 12
- G.L. Sharipov, A.A. Tukhbatullin*  
Impact and fracture triboluminescent sensors ..... 17
- N.V. Shul'ga, R.A. Doroshenko*  
The resonance susceptibility of two-layer exchange-coupled ferromagnetic film  
with a combined uniaxial and cubic anisotropy of layers with inclined magnetization ..... 21
- D.D. Karamov, D.A. Kiselev, M.D. Malinkovich,  
V.M. Kornilov, A.N. Lachinov, R.M. Gadiev*  
Atomorally smooth surface and surface polarization of submicronic polydifenylhthalide films ..... 26

## CHEMISTRY

- R.A. Zilberg, L.R. Kabirova, Yu.A. Yarkaeva, A.V. Sidelnikov,  
V.N. Maistrenko, V.M. Kornilov, A.N. Lachinov*  
Recognition of propranolol according to their manufacturers using  
glassy carbon electrodes modified by composites based on polyarylenhthalide film,  
melamine and cyanuric acid ..... 33
- G.V. Rybakova*  
Formation of ecological culture among students in technical universities ..... 41
- Z.S. Kinzabaeva, G.L. Sharipov*  
Synthesis of the dioxane derivative C<sub>70</sub> in the heterogeneous reaction of fullerene  
with ethylene glycol under the action of ultrasound ..... 46

## BIOLOGY, BIOCHEMISTRY AND GENETICS

- S.G. Rzhovsky, V.A. Agafonov, A.A. Maltseva, A.A. Verlina, A.V. Falaleev, Kh.S. Shikhaliev*  
Comparative analysis of the essential oils of *Artemisia absinthium*,  
*Artemisia armeniaca* and *Artemisia latifolia* ..... 51

<i>F.K. Murzabulatova, N.V. Polyakova</i> Introduction of the representatives of the genus <i>Weigela</i> Thunb. and prospects for their use in urban gardening .....	57
<i>L.N. Mironova, I.N. Allayarova</i> Blossom biology and seed productivity of <i>Campanula</i> species under conditions of the South Urals .....	63
<i>L.A. Tukhvatullina, L.M. Abramova</i> Biologically active agents in some species of the genus <i>Allium</i> L. under cultivation .....	69
<i>L.N. Mironova, S.F. Davletbaeva</i> The introduction of <i>Hosta undulata</i> under conditions forest steppe zone of the Bashkir Cis-Urals .....	72
<i>V.A. Mikhaylova, L.M. Abramova, Ya.M. Golovanov</i> On ravine vegetation of the Bashkir Cis-Urals .....	78
<i>U.B. Yunusbaev, R.R. Valiev, B.B. Yunusbaev</i> Principal component analyses of Volga and Central Asian Turkic populations genomes .....	83
<i>F.R. Gimalov, D.S. Farafontov</i> The methylation of plant DNA in connection with tolerance to environmental factors .....	89
<i>S.A. Bashkatov, Yu.M. Sotnikova</i> Characteristics of subjective welfare, associated with indicators of amplitudes of called potentials of visual analyzer .....	95

## HISTORY, ARCHAEOLOGY, ETHNOLOGY

<i>A.G. Kolonskikh, A.I. Tuzbekov</i> The problem of localization of the Andreevka hillfort in the Ilishevsky district of the Republic of Bashkortostan .....	100
<i>A.B. Yunusova</i> Autonomy of Bashkir Islam: to the 100th Anniversary of Spiritual control Muslim of Bashkortostan .....	105
<i>A.G. Baimov, R.M. Mukhametzhanova-Duggal, T.M. Nadirshin, A.I. Tuzbekov, A.B. Yunusova</i> Social expectations of the rural population of the Southern Urals in connection with the implementation of investment projects of the agroindustrial complex .....	117

УДК 530.145

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ШАПИРО ДЛЯ ОПЕРАТОРА СВЕРТКИ

© В.В. Напалков (мл.), А.У. Муллабаева

Посвящена решению задачи Шапиро для оператора свертки, связанного с пространством Баргмана–Фока. Рассмотрим однородное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами. Известно следующее свойство этого пространства, что любую функцию из пространства Баргмана–Фока можно представить в виде суммы решения заданного однородного дифференциального уравнения и функции, кратной характеристической функции данного уравнения с сопряженными коэффициентами. Шапиро доказал подобное разложение для дифференциального оператора, порожденного однородным полиномом, в пространстве целых функций многих комплексных переменных с топологией равномерной сходимости на компактах и поставил задачу: можно ли получить разложение этого пространства для произвольного дифференциального уравнения? Получено решение задачи Шапиро для оператора свертки в пространстве целых функций одной комплексной переменной с топологией равномерной сходимости на компактах. Задача Шапиро, имея вековую историю, до сих пор полностью не решена. Известные на данный момент результаты решения задачи Шапиро для однородного полинома активно используются для решения таких задач, как задачи Гурса, Дирихле, Коши и интерполяционной задачи Валле Пуссена.

Разложение пространства целых функций вытекает из сюръективности оператора свертки с композицией умножения. Согласно теореме Дьедонне–Шварца последнее получается из инъективности и замкнутости образа сопряженного ему оператора в пространстве целых функций экспоненциального роста. Ключевым моментом доказательства является установить секвенциальную достаточность нулей характеристической функции оператора свертки в ядре сопряженного оператора свертки. Попутно получено решение задачи Валле Пуссена для оператора свертки с узлами интерполяции в нулях характеристической функции с сопряженными коэффициентами оператора свертки.

Ключевые слова: оператор свертки, секвенциально достаточное множество, задача Шапиро, задача Валле Пуссена, разложение Фишера.

**Резюме.** Гильбертово пространство Баргмана–Фока можно представить в виде суммы ядра заданного однородного дифференциального уравнения и идеала, порожденного характеристической функцией данного уравнения с сопряженными коэффициентами. Шапиро доказал подобное разложение для дифференциального оператора, порожденного однородным полиномом, в пространстве целых функций многих комплексных переменных с топологией равномерной сходимости на компактах и поставил задачу: можно ли получить разложение этого пространства для произвольного дифференциального уравнения? В статье представлено решение задачи Шапиро для оператора свертки в пространстве целых функций одной

комплексной переменной с топологией равномерной сходимости на компактах.

Разложение пространства целых функций вытекает из сюръективности оператора свертки с композицией умножения. Согласно теореме Дьедонне–Шварца, последнее получается из инъективности и замкнутости образа сопряженного ему оператора в пространстве целых функций экспоненциального роста. Ключевым моментом доказательства является установить секвенциальную достаточность нулей характеристической функции оператора свертки в ядре сопряженного оператора свертки.

Имея вековую историю, задача Шапиро до сих пор полностью не решена (для однородного полинома и полинома степени не больше двух

НАПАЛКОВ Валерий Валентинович – к.ф.-м.н., Институт математики с вычислительным центром Уфимского научного центра РАН, e-mail: vnar@mail.ru

МУЛЛАБАЕВА Айгуль Ураловна – к.ф.-м.н., Институт математики с вычислительным центром Уфимского научного центра РАН, e-mail: mullabaeva.87@mail.ru

не более двух переменных). Наш результат обобщает задачу Шапиро для дифференциального уравнения бесконечного порядка в пространстве целых функций одной комплексной переменной.

**1. Введение.** Задача Шапиро посвящена разложению Фишера пространства  $H(\mathbb{C}^n)$  – пространства целых функций с топологией равномерной сходимости на компактах. Разложение Фишера – это представление заданного пространства функций в виде прямой суммы ядра дифференциального оператора и главного идеала. Функции, порождающие разложение Фишера, т.е. характеристическую функцию дифференциального оператора и функцию, порождающую идеал, принято называть парой Фишера. Изучение пар Фишера началось в 1917 г. с работы Эрнста Фишера [1], в которой получена следующая

**Теорема 1.** Если  $P$  – элемент пространства  $H_\kappa$  ( $H_\kappa$  – пространство однородных полиномов степени  $\kappa$  в  $\mathbb{C}^n$ ), то всякий полином  $Q$ , принадлежащий пространству  $H_m$ ,  $0 < m < \infty$ , представляется в виде  $Q = G + \Phi$ ,  $G, \Phi$  из пространства  $H_m$ , причем  $\Phi$  кратно  $P$ , а  $G$  удовлетворяет дифференциальному уравнению  $P^*(D)G = 0$ , где  $P^*$  – полином с комплексно сопряженными коэффициентами  $D = (D_1, D_2, \dots, D_n)$ ,  $D_j = \partial/\partial z_j$ .

Таким образом, однородные полиномы  $P$  и  $P^*$  образуют пары Фишера в пространстве всех однородных полиномов. В работе Ньюмана и Шапиро [2] в 1966 г. было показано, что разложение Фишера справедливо в пространстве Баргмана–Фока для произвольного многочлена  $P(z)$  и экспоненциального полинома  $E(z)$ . Под экспоненциальным полиномом принято понимать конечную линейную комбинацию экспоненциальных одночленов (функций вида  $z^N e^{z^a}$ , где  $N$  – мультииндекс,  $a$  представляет собой нули характеристической функции дифференциального оператора). В последующем возник вопрос о распространении этих результатов на локально-выпуклые пространства. Первый результат в этом направлении был получен в 1989 г. в работе [3], где Шапиро получил разложение Фишера пространства  $H(\mathbb{C}^n)$  в случае однородного полинома.

**Теорема 2.** Пусть  $P$  – произвольный однородный полином в  $\mathbb{C}^n$ . Тогда любую функцию  $f$  из  $H(\mathbb{C}^n)$  можно представить единственным образом в виде  $f = g + h$ , где  $g, h$  принадлежат пространству  $H(\mathbb{C}^n)$ , причем  $h$  кратно  $P$  и  $P^*(D)g = 0$ ,  $P^*(z) = \overline{P(\bar{z})}$ .

В этой же работе Шапиро ставит задачу получить разложение Фишера пространства  $H(\mathbb{C}^n)$  в случае произвольного полинома. Эта задача оказалась значительно труднее, на данный момент известен следующий достаточно общий результат [4]: если  $P(z)$  – многочлен степени не больше двух и зависит не более чем от двух комплексных переменных, то  $P$  и  $P^*$  образуют пары Фишера в пространстве  $H(\mathbb{C}^2)$ .

В работах В.В. Напалкова и его учеников были рассмотрены пары Фишера для оператора свертки в пространстве целых функций с идеалом  $\sin \pi z$  [5], для пространства полиномов степени не больше  $m$  [6], для полинома вида  $P(z) = 1+z^m$  в пространстве  $H(\mathbb{C}^n)$  [7]. Получено разложение Фишера для оператора свертки в случае расположения нулей характеристической функции и функции, порождающей идеал, в некоторых углах [8]; для оператора свертки Данкла [9] и оператора обобщенной свертки [10] – в случае, когда нули функций лежат на вещественной оси. Далее в [11] получен аналог теоремы Шапиро для дифференциального оператора с переменными коэффициентами. Известны также работы С.Г. Мерзлякова и С.В. Попенова об интерполяционных задачах, при решении которых применяются разложения Фишера [12, 13], из зарубежных авторов, изучающих разложение Фишера, можно назвать следующих: Н. Render, Е. Lundberg, Р. Ebenfelt, F. Brackx, Н. De Schepper, V. Souček, Lávička R., Šmíd D., Van Lancker P., Malonek H.R., Peña Peña D., Sommen F [14–25] и т.д.

Интерес изучения пар Фишера во многом вызван тем, что разложение Фишера решает вопросы о разрешимости таких задач, как задачи Гурса и Дирихле, задачи Коши и интерполяционной задачи Валле Пуссена (см., например, [3, 5, 8–10, 12–17]).

**2. Постановка задачи.** В дальнейшем в нашей статье исследуется пространство  $H(\mathbb{C})$  – пространство целых функций одной комплексной переменной. Введем пространство  $H^*(\mathbb{C})$  – пространство, сопряженное к  $H(\mathbb{C})$ , и  $P_{\mathbb{C}}$  – пространство целых функций экспоненциального роста. Преобразование Лапласа  $\hat{F}(\lambda) = (F_z, e^{\lambda z}) = \varphi(\lambda)$ ,  $F \in H^*(\mathbb{C})$  устанавливает топологический изоморфизм между пространствами  $H^*(\mathbb{C})$  и  $P_{\mathbb{C}}$ . Последовательность функций  $\{q_n\}_{n=1}^{\infty}$ ,  $q_n \in P_{\mathbb{C}}$  сходится в топологии пространства  $P_{\mathbb{C}}$  тогда и только тогда (см. [26]), когда последовательность  $q_n$  сходится равно-

мерно на каждом компакте плоскости  $\mathbb{C}$  и существуют константы  $c, \sigma > 0$  такие, что равномерно относительно  $n$  выполняются оценки

$$q_n(z) \leq ce^{\sigma|z|}. \quad (1)$$

Рассмотрим в пространстве  $H(\mathbb{C})$  оператор свертки с характеристической функцией  $\varphi$ :

$$M_\varphi[f](z) = (F_t, f(z+t)), \quad f \in H(\mathbb{C}), t \in \mathbb{C}.$$

Определим через  $\varphi^*$ , как это было введено в работе Ньюмана и Шапиро [2], функцию, получаемую из  $\varphi$  заменой коэффициентов на комплексно сопряженные, т.е.  $\varphi^*(z) = \overline{\varphi(\bar{z})}$ .

Статья посвящена решению задачи Шапиро для оператора свертки: можно ли произвольную функцию  $f \in H(\mathbb{C})$  представить в виде

$$f = w + \varphi^* \cdot l,$$

где  $w \in \ker M_\varphi, l \in H(\mathbb{C})$ . (2)

**3. Секвенциально достаточное множество в ядре оператора  $K_{\varphi^*}$ .** Наряду с оператором  $M_\varphi$  рассмотрим линейный непрерывный оператор

$$M_\varphi[\varphi^* \cdot]: H(\mathbb{C}) \rightarrow H(\mathbb{C}).$$

В работе [5] была доказана следующая лемма

**Лемма 1.** Равенство (2) эквивалентно сюръективности оператора  $M_\varphi[\varphi^* \cdot]$ .

Согласно лемме 1, решение задачи Шапиро сводится к сюръективности оператора  $M_\varphi[\varphi^* \cdot]$ , для решения которой рассмотрим оператор свертки  $K_{\varphi^*}$  в пространстве  $P_{\mathbb{C}}$ :

$$K_{\varphi^*}[\psi](\lambda) = \frac{1}{2\pi i} \int_C e^{\lambda z} \varphi^*(z) g_\psi(z) dz, \quad \psi \in P_{\mathbb{C}},$$

где  $\varphi^*$  – характеристическая функция этого оператора, функция  $g_\psi$  – ассоциированная по Борелю с  $\psi$ , контур  $C$  охватывает все особенности функции  $g_\psi$ .

Согласно теореме Дьедонне–Шварца, сюръективность оператора  $M_\varphi[\varphi^* \cdot]$  эквивалентна инъективности и замкнутости образа сопряженного оператора  $K_{\varphi^*}[\varphi^* \cdot]$ . В работе [27] Муггли показал, что ядро оператора  $K_{\varphi^*}$  состоит из функций вида

$$r(z) = \sum_{i=1}^Q c_i e^{\bar{\lambda}_i z},$$

где  $\bar{\lambda}_1, \dots, \bar{\lambda}_Q$  – нули функции  $\varphi^*$ , которые находятся внутри контура интегрирования  $C$ .

Обозначим через  $N_\varphi = \{\lambda_k\}_{k=1}^\infty$  множество нулей функции  $\varphi$ . Нумерацию  $\lambda_k$  ведем по мере возрастания модуля числа, если числа по моду-

лю одинаковы – нумеруем в произвольном порядке. Для доказательства инъективности и замкнутости образа оператора  $K_{\varphi^*}[\varphi^* \cdot]$  введем понятие секвенциально достаточного множества.

**Определение 1.** Будем говорить, что  $N_\varphi \subset \mathbb{C}$  – секвенциально достаточное множество в пространстве  $\ker K_{\varphi^*}$ , если из сходимости к нулю любой последовательности функций из  $\ker K_{\varphi^*}$  на компактах множества  $N_\varphi$  вытекает сходимость этой последовательности в топологии  $P_{\mathbb{C}}$  к нулю во всех точках  $z$ , принадлежащих некоторому компактному  $K, K \subset \mathbb{C}$ .

**Теорема 3.**  $N_\varphi$  – секвенциально достаточное множество в  $\ker K_{\varphi^*}$ .

Доказательство. Из оценки (1) получаем, что числа  $|\bar{\lambda}_k| \leq \sigma$ . Будем считать, что внутри замкнутого круга с центром в начале координат радиуса  $\sigma$  находится конечное число различных точек  $\bar{\lambda}_k, k = \overline{1, p}$  (возможно расположение точек и на границе). Эти точки определяют ядро оператора  $K_{\varphi^*}$ . Возьмем последовательность

$$r_n(z) = \sum_{i=1}^{p_n} c_i^n e^{\bar{\lambda}_i z}. \quad (3)$$

Покажем, что если последовательность функций  $r_n \in \ker K_{\varphi^*}$  стремится к нулю на любых компактах множества  $N_\varphi$ , то эта последовательность стремится к нулю на любом компакте  $K \subset \mathbb{C}$ . Рассмотрим систему

$$\sum_{i=1}^{p_n} c_i^n e^{\bar{\lambda}_i \lambda_j} = r_n(\lambda_j), \quad j = 1, 2, \dots, p, \forall n. \quad (4)$$

Покажем, что из выполнения равномерной сходимости

$$r_n \rightarrow 0 \quad (5)$$

на любом компакте множества  $N_\varphi$  следует, что коэффициенты  $c_i^n$  в (4) стремятся к нулю.

Матрица  $A$  имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} e^{\bar{\lambda}_1 \lambda_1} & \dots & e^{\bar{\lambda}_p \lambda_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e^{\bar{\lambda}_1 \lambda_p} & \dots & e^{\bar{\lambda}_p \lambda_p} \end{pmatrix}.$$

Согласно теореме [28, с. 226], определитель этой матрицы отличен от нуля и, следовательно, коэффициенты  $c_i^n$  являются решениями системы уравнений (3).

По правилу Крамера найдем коэффициенты

$$c_i^n = \frac{\Delta_i}{\Delta},$$

где  $\Delta_i$  – определитель матрицы, полученной из  $\Delta$  заменой  $i$ -го столбца столбцом свободных членов. Согласно условию (5), при  $n \rightarrow \infty$  столбец свободных членов стремится к нулю, а следовательно, и все  $\Delta_i \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$ . Тем самым получаем, что  $c_i^n \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$  для любого  $i$ . Имеем, что для любого компакта  $K \subset \mathbb{C}$  функ-

ции  $e^{\bar{\lambda}_k z}$  ограничены на этом компакте, коэффициенты  $c_i^n$  стремятся к нулю, тогда и вся линейная комбинация (3) стремится к нулю при  $n \rightarrow \infty$ . Следовательно,  $r_n \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$  на любом компакте  $K \subset \mathbb{C}$ .

Покажем, что для любой последовательности функций  $r_n \in \ker K_{\varphi^*}$  существуют числа  $c, \sigma > 0$  такие, что справедлива оценка (1). Поскольку все  $\bar{\lambda}_k, k = \overline{1, p}$  лежат в круге радиуса  $\sigma$ , верна оценка  $|\bar{\lambda}_k| \leq \sigma$ , согласно которой имеем

$$|r_n(z)| \leq \sum_{i=1}^{p_n} |c_i^n| |e^{\bar{\lambda}_i z}| \leq p_n \max_i \{c_i^n\} |e^{\bar{\lambda}_i z}| \leq ce^{\sigma|z|}, \forall z \in K \subset \mathbb{C}. \quad (6)$$

Учитывая равномерную сходимость  $r_n(z)$  на компактах  $K$  и оценку (6), получаем  $r_n(z) \rightarrow 0$  на любом компакте  $K \subset \mathbb{C}$  при  $n \rightarrow \infty$ . Следовательно,  $N_\varphi$  является секвенциально достаточным множеством в пространстве  $\ker K_{\varphi^*}$ . Теорема доказана.

**Определение 2.** Пусть целая функция  $f$  принадлежит классу  $P_{\mathbb{C}}$ . Множество точек  $\{z_n\}$  называется множеством единственности для данного класса функций, если из совпадения на нем двух функций этого класса следует их тождественное равенство [29, гл. 4].

**Теорема 4.** Если нули  $N_\varphi$  характеристической функции оператора  $M_\varphi$  являются секвенциально достаточным множеством в ядре оператора  $K_{\varphi^*}$ , то оператор  $M_\varphi[\varphi^*]$  сюръективен в пространстве  $H(\mathbb{C})$ .

Доказательство. Как уже было сказано, сюръективность  $M_\varphi[\varphi^*]$  вытекает из инъективности и замкнутости образа оператора  $K_{\varphi^*}[\varphi]$  в  $P_{\mathbb{C}}$ .

Покажем инъективность оператора  $K_{\varphi^*}[\varphi]$ . Действительно, пусть функция  $G \in P_{\mathbb{C}}$  и удовлетворяет уравнению  $K_{\varphi^*}[\varphi \cdot G] = 0$ . На множестве  $N_\varphi$  произведение  $\varphi(\lambda_k) \cdot G(\lambda_k) \equiv 0$  и поскольку  $N_\varphi$  является множеством единственности в  $\ker K_{\varphi^*}$  имеем, что функция  $\varphi(z) \cdot G(z) \equiv 0$  в  $\ker K_{\varphi^*}$ . Поскольку  $\varphi(z) \neq 0$  для всех  $z$  одновременно, значит  $G \equiv 0$ .

Докажем замкнутость образа оператора  $K_{\varphi^*}[\varphi]$  в пространстве  $P_{\mathbb{C}}$ . Пусть последовательность функций  $g_n \in \text{im } K_{\varphi^*}[\varphi]$  и  $g_n \rightarrow g$  при  $n \rightarrow \infty$ . Покажем, что  $g \in \text{im } K_{\varphi^*}[\varphi]$ . Так как  $g_n \in \text{im } K_{\varphi^*}[\varphi]$ , то существуют функции  $G_n \in P_{\mathbb{C}}$ , удовлетворяющие условию

$$K_{\varphi^*}[\varphi \cdot G_n] = g_n, n = 1, 2, \dots \quad (7)$$

Рассмотрим оператор  $K_{\varphi^*}[y], y \in P_{\mathbb{C}}$ . Поскольку этот оператор является сюръективным

в пространстве  $P_{\mathbb{C}}$  и, согласно результатам Е. Майкла и О.В. Епифанова [30], имеет непрерывный правый обратный  $K_{\varphi^*}^{-1}$ , вообще говоря, нелинейный, поэтому существуют функции  $y_n \in P_{\mathbb{C}}$ , удовлетворяющие условиям:

$$\text{а) } K_{\varphi^*}^{-1}[g_n] = y_n;$$

б) последовательность  $y_n$  в пространстве  $P_{\mathbb{C}}$  сходится к некоторой функции  $y \in P_{\mathbb{C}}$ , причем  $K_{\varphi^*}^{-1}[g] = y$ .

Из условия а) и равенства (7) в силу линейности оператора  $K_{\varphi^*}$  получаем

$$K_{\varphi^*}[y_n - \varphi \cdot G_n] = 0.$$

Рассмотрим функцию  $h_n = y_n - \varphi \cdot G_n$ . В точках  $N_\varphi$  имеем, что  $h_n(\lambda_k) = y_n(\lambda_k)$ . Поскольку множество  $N_\varphi$  секвенциально достаточное в  $\ker K_{\varphi^*}$ , получим, что последовательность  $h_n$  сходится к некоторой функции  $h \in \ker K_{\varphi^*}$  в  $P_{\mathbb{C}}$ . Отсюда, учитывая  $y_n \rightarrow y$ , получаем, что  $\varphi \cdot G_n$  сходится к некоторой функции  $l$  в  $P_{\mathbb{C}}$  и нули  $l$  включают нули  $\varphi$ . Обозначим  $G = l/\varphi$ . Функции  $l \in P_{\mathbb{C}}, \varphi \in P_{\mathbb{C}}$ , тогда по теореме деления  $G \in P_{\mathbb{C}}$ .

Покажем, что  $G_n(z)$  сходится к  $G(z) = l(z)/\varphi(z)$  в пространстве  $P_{\mathbb{C}}$ , т.е. справедлива оценка и выполняется равномерная сходимость на компактах. Из сходимости  $\varphi \cdot G_n$  к  $l$  в  $P_{\mathbb{C}}$  справедлива оценка  $|\varphi(z) \cdot G_n(z)| \leq B_1 e^{B|z|}$ . По теореме об оценке снизу [31, теорема 1.1.9] имеем  $|\varphi(z)| \geq e^{-C|z|}$  и, следовательно,  $|G_n(z)| \leq B_1 e^{A|z|}$ , где  $A = B - C$ .

Покажем, что  $G_n(z)$  сходится к  $G(z) = l(z)/\varphi(z)$  равномерно на компактах. Пусть  $K$  – замкнутый круг с центром в нуле такой, что на его границе  $\partial K$

$$|\varphi(z)| > \delta \text{ для некоторого } \delta > 0. \quad (8)$$

Так как  $\varphi(z) \cdot G_n(z)$  равномерно сходится к  $l(z)$  на  $K$ , то для любого  $\varepsilon > 0$  выполняются соотношения

$$|\varphi(z) \cdot G_n(z) - l(z)| < \varepsilon, n > N(\varepsilon), z \in K.$$

Учитывая (8), получим оценку

$$|G_n(z) - l(z)/\varphi(z)| < \frac{\varepsilon}{\delta}, n > N(\varepsilon), z \in \partial K,$$

которая по принципу максимума модуля может быть продолжена на весь компакт  $K$ . Таким образом, доказали, что  $G_n(z)$  равномерно сходится к функции  $G(z) = l(z)/\varphi(z)$  на  $K$ . Значит, из равномерной сходимости на компактах и оценки получаем, что  $G_n(z)$  сходится к  $G(z)$  в  $P_{\mathbb{C}}$ .

В силу непрерывности оператора свертки имеем

$$K_{\varphi^*}[y(z) - \varphi(z) \cdot G(z)] = 0, G \in P_{\mathbb{C}},$$

поэтому

$$K_{\varphi^*}[\varphi(z) \cdot G(z)] = K_{\varphi^*}[y(z)] = g(z),$$



значит,  $g(z) \in \text{im } K_{\varphi^*}[\varphi \cdot]$ . Получили, что образ оператора  $K_{\varphi^*}[\varphi \cdot]$  замкнут. Следовательно, оператор  $M_{\varphi}[\varphi^* \cdot]$  является сюръективным. Теорема 4 доказана.

Таким образом, сформулируем основной результат нашей статьи:

**Теорема 5.** Пусть  $\varphi$  – характеристическая функция оператора  $M_{\varphi}$ , нули которой являются секвенциально достаточным множеством в  $\ker K_{\varphi^*}$ , тогда разрешима задача Шапиро для оператора свертки  $M_{\varphi}$  в пространстве  $H(\mathbb{C})$ .

**Следствие 1.** Полученные результаты позволяют решить задачу Валле Пуссена с узлами интерполяции в точках  $\overline{\lambda}_k$  в ядре оператора  $M_{\varphi}$ . Задача Валле Пуссена состоит в следующем: необходимо найти функцию из ядра оператора свертки, которая в заданной последовательности точек принимала бы заданные значения.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-41-020070 p\_a.*

#### Литература

1. Fisher E. Uber die Differentiationsprozesse der Algebra // J. Math. 1917. V. 148. P. 1–78.
2. Newman D.J., Shapiro H.S. Certain Hilbert spaces of entire functions // Bull. Amer. Math. Soc. 1966. V. 72. P. 971–977.
3. Shapiro H.S. An algebraic theorem of E. Fisher, and the holomorphic Goursat problem // Bull. London Math. Soc. 1989. V. 21. P. 513–537.
4. A. Meril and A. Yger, Problèmes de Cauchy globaux // Bull. Soc. math. France. 1992. V. 120. P. 87–111.
5. Напалков В.В. Комплексный анализ и задача Коши для операторов свертки // Тр. МИАН. 2001. Т. 235. С. 165–168.
6. Напалков В.В. Об обобщении одной теоремы Фишера // ДАН. 2010. Т. 433, № 2. С. 170–172.
7. Елизарьев И.Н., Напалков В.В. О разложении Фишера для одного класса неоднородных полиномов // ДАН. 2012. Т. 443, № 2. С. 156–157.
8. Напалков В.В., Нуятов А.А. Многоточечная задача Валле Пуссена для операторов свертки с узлами, заданными в угле // ТМФ. 2014. Т. 180, № 2. С. 264–271
9. Забирова К.Р., Напалков В.В. Об операторах композиции свертки и умножения на функцию // Матем. заметки. 2016. Т. 99, № 3. С. 350–360.
10. Муллабаева А.У., Напалков В.В. Об одном классе дифференциальных операторов и их применении // Тр. ИММ УрО РАН. 2014. Т. 20, № 1. С. 201–214.
11. Губайдуллина Э.Ф., Напалков В.В. О разложении Фишера для дифференциальных операторов с переменными коэффициентами // ДАН. 2015. Т. 465, № 2. С. 141–144.
12. Мерзляков С.Г., Попенов С.В. Кратная интерполяция рядами экспонент в  $H(\mathbb{C})$  с узлами на вещественной оси // Уфимск. матем. журн. 2013. Т. 5, № 3. С. 130–143.
13. Мерзляков С.Г., Попенов С.В. Интерполяция рядами экспонент в  $H(D)$ , с вещественными узлами // Уфимск. матем. журн. Т. 7, № 1. С. 46–58.
14. Render H. Real Bargmann spaces, Fischer decompositions and Sets of uniqueness for polyharmonic functions // Duke Math. J. 2008. V. 142, No 2. P. 313–352.
15. Render H. Cauchy, Goursat, and Dirichlet Problems for holomorphic partial differential equations // Comput. Methods and Funct. Theory. 2010. V. 10. No. 2. P. 519–554.
16. Lundberg E., Render H. The Khavinson – Shapiro conjecture and polynomial decompositions // J. of Mathematical Analysis and Applications. 2011. V. 376. No 2. P. 506–513.
17. Ebenfelt P., Render H. The mixed Cauchy problem with data on singular conics // J. London Math. Soc. 2008. V. 78. P. 248–266.
18. Brackx F., De Schepper H., Lávička R., Souček V. Fischer decompositionsof kernels of Hermitean Dirac operators // AIP Conference Proceedings. 2010. V. 1281. P. 1484–1487.
19. Brackx F., De Schepper H., Souček V. Fischer decompositions in Euclidean and Hermitean Clifford analysis // Archivum Mathematicum. 2010. V. 46. P. 301–321.
20. Brackx F., De Schepper H., Eelbode D., Lávička R., Souček V. Fundaments of Quaternionic Clifford Analysis III: Fischer Decomposition in Symplectic Harmonic Analysis // Ann. Glob. Anal. Geom. 2014 V. 46. P. 409–430.
21. Brackx F., De Schepper H., Eelbode D., Lávička R., Souček V.: Fischer Decomposition for osp(4|2)-monogenics in Quaternion Clifford Analysis. Math. Methods Appl. Sci. doi: 10.1002/mma.3910 (2016)
22. Lávička R., Šmíd D. Fischer decomposition for polynomials on superspace // J. of Mathematical Physics. 2015. T. 56, №. 11. С. 111704.
23. Lavicka R., Soucek V. Fischer decomposition for spinor valued polynomials in several variables // arXiv preprint arXiv:1708.01426. 2017. URL: <https://arxiv.org/pdf/1708.01426.pdf>
24. Van Lancker P., The monogenic Fischer decomposition: two vector variables, Complex Analysis and Operator Theory. 2011. URL: <https://biblio.ugent.be/publication/3032080/file/3032081.pdf>
25. Malonek H. R., Peña Peña D., Sommen F. Fischer decomposition by in framongenetic functions // Cubo (Temuco). 2010. T. 12, №. 2. С. 189–197.
26. Себастьян-и-Сильва Ж. О некоторых классах локально-выпуклых пространств, важных в приложениях // Сб. пер. Математика. 1957. Т. 1. С. 60–77.
27. Muggli H. Differential gleichungenunnen dlichhoher Ordnungmit konstanten Koeffizienten // Comment. Math. Helv. 1938. V. 11. P. 151–179.

28. Гантмахер Ф. П. Теория матриц. М.: Наука, 1966. 577 с.

29. Левин Б.Я. Распределение корней целых функций. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. 632 с.

30. Елифанов О.В. О существовании непрерывного правого обратного оператора в одном классе локально-выпуклых пространств // Известия Северо-Кавказского Научного центра высшей школы. Серия естественных наук. 1991. № 3. С. 3–4.

31. Леонтьев А.Ф. Ряды экспонент. М.: Наука, 1976. 536 с.

### References

1. Fisher E. Uber die Differentiationsprozesse der Algebra // J. Math. 1917. V. 148. P. 1–78.

2. Newman D.J., Shapiro H.S. Certain Hilbert spaces of entire functions // Bull. Amer. Math. Soc. 1966. V. 72. P. 971–977.

3. Shapiro H.S. An algebraic theorem of E. Fisher, and the holomorphic Goursat problem // Bull. London Math. Soc. 1989. V. 21. P. 513–537.

4. A. Meril and A. Yger, Problèmes de Cauchy globaux // Bull. Soc. math. France. 1992. V. 120. P. 87–111.

5. Napalkov V.V. Complex analysis and the Cauchy problem for convolution operators // Proc. Steklov Inst. Math.. 2001. V. 235. P. 158–161.

6. Napalkov V.V. A generalization of theorem of Fischer // Dokl. Math. 2010. V. 82. No 2. P. 546–548.

7. Elizari'ev I.N., Napalkov V.V. Fischer decomposition for a class of inhomogeneous polynomials // Dokl. Math. 2012. V. 85. No 2. P. 196–197.

8. Napalkov V.V., Nuyatov A.A. Multipoint Vallée-Poussin problem for convolution operators with nodes defined inside an angle // Theor. Math. Phys. 2014. V. 180. No. 2. P. 983–989.

9. Zabirowa K. R., Napalkov V.V. Composition operators of convolution and multiplication by a function // Math. Notes. 2016. V. 99. No. 3. P. 368–377.

10. Napalkov V.V., Mullabaeva A.U. On one class of differential operators and their application // Proc. Steklov Inst. Math. 2015. V. 288. No. 1. P. 142–155.

11. Gubaidullina E.F., Napalkov V.V. Fischer decomposition for differential operators with variable coefficients // Dokl. Math.. 2015. V. 92. No 3. P. 674–676.

12. Merzlyakov S.G., Popenov S.V. Interpolation with multiplicity by series of exponentials in  $H(\mathbb{C})$  with nodes on the real axis // Ufa Math. Journal. 2013. V. 5. No. 3. P. 127–140.

13. Merzlyakov S.G., Popenov S.V. Interpolation by series of exponentials in  $H(\mathbb{D})$  with real nodes // Ufa Math. Journal. 2015. V. 7. No. 1. P. 46–57.

14. Render H. Real Bargmann spaces, Fischer decompositions and Sets of uniqueness for polyharmonic functions // Duke Math. J. 2008. V. 142. No 2. P. 313–352.

15. Render H. Cauchy, Goursat, and Dirichlet Problems for holomorphic partial differential equations // Comput. Methods and Funct. Theory. 2010. V. 10. No 2. P. 519–554.

16. Lundberg E., Render H. The Khavinson – Shapiro conjecture and polynomial decompositions // Journal of Mathematical Analysis and Applications. 2011. V. 376. No 2. P. 506–513.

17. Ebenfelt P., Render H. The mixed Cauchy problem with data on singular conics // J. London Math. Soc. 2008. V. 78. P. 248–266.

18. Brackx F., De Schepper H., Lávička R., Souček V. Fischer decompositions of kernels of Hermitean Dirac operators // AIP Conference Proceedings. 2010. V. 1281. P. 1484–1487.

19. Brackx F., De Schepper H., Souček V. Fischer decompositions in Euclidean and Hermitean Clifford analysis // Archivum Mathematicum. 2010. V. 46. P. 301–321.

20. Brackx F., De Schepper H., Eelbode D., Lávička R., Souček V. Fundamentals of Quaternionic Clifford Analysis III: Fischer Decomposition in Symplectic Harmonic Analysis // Ann. Glob. Anal. Geom. 2014. V. 46. P. 409–430.

21. Brackx F., De Schepper H., Eelbode D., Lávička R., Souček V.: Fischer Decomposition for osp(4|2)-monogenics in Quaternion Clifford Analysis. Math. Methods Appl. Sci. doi: 10.1002/mma.3910 (2016)

22. Lávička R., Šmid D. Fischer decomposition for polynomials on superspace // Journal of Mathematical Physics. 2015. T. 56, № 11. C. 111704.

23. Lavička R., Souček V. Fischer decomposition for spinor valued polynomials in several variables // arXiv preprint arXiv:1708.01426. 2017. URL: <https://arxiv.org/pdf/1708.01426.pdf>

24. Van Lancker P., The monogenic Fischer decomposition: two vector variables, Complex Analysis and Operator Theory. 2011. URL: <https://biblio.ugent.be/publication/3032080/file/3032081.pdf>

25. Malonek H. R., Peña Peña D., Sommen F. Fischer decomposition by inframonogenic functions // Cubo (Temuco). 2010. T. 12. №. 2. C. 189–197.

26. Sebastião e Silva J. Su certe classi di spazialmente convessi importanti per le applicazioni // Rend. Mat. e Appl. 1955. V. 14. No 5. P. 388–410.

27. Muggli H. Differential gleichungen n-ten Ordnung mit konstanten Koeffizienten // Comment. Math. Helv. 1938. V. 11. P. 151–179.

28. Gantmacher F.R. The theory of matrices, New York, Chelsea publishing company. 1960. 337 p.

29. Levin B. Ja. Distribution of zeros of entire functions. American Mathematical Soc. 1964. V. 5, 524 p.

30. Epifanov O.V. On the existence of the continuous right-inverse for an operator in a class of locally convex spaces // Izv. Sev.-Kavk. Nauchn. Tsentra Vyssh. Shk., Estestv. Nauki. 1991. V. 75, N 3. P. 3–4.

31. Leontev A.F. Exponential series. Moscow, Nauka. 1976. 536 p.



## **SOLUTION OF THE SHAPIRO PROBLEM FOR CONVOLUTION OPERATOR**

© **V.V. Napalkov (Jr.), A.U. Mullabaeva**

Institute of Mathematics with Computer Centre, Ufa Scientific Centre, RAS,  
112, ulitsa Chernyshevskogo, 450077, Ufa, Russian Federation

The article is devoted to solving the Shapiro problem for a convolution operator associated with the Bargmann-Fock space. Let us consider the homogeneous differential equation with constant coefficients. It is known that any function of the Bargmann-Fock space can be represented as the sum of the solutions of the given homogeneous differential equation and the ideal generated by the characteristic function of this equation with conjugate coefficients in the Bargmann-Fock space. Shapiro got a solution to this problem for the differential operator generated by a homogeneous polynomial in the space of entire functions with the topology of uniform convergence on compact sets and set the task of whether it is possible to obtain an expansion of the space of entire functions of several complex variables with the topology of uniform convergence on compact sets for an arbitrary differential equation. This problem is solvable in the space of entire functions of a complex variable for differential equations with constant coefficients. In this paper we shall solve the Shapiro problem for a convolution operator in the space of entire functions of a complex variable with the topology of uniform convergence on compact sets.

We consider the convolution operator with the composition of multiplication by an entire function. The expansion of the space of entire functions is derived from surjectivity of the convolution operator with the composition of multiplication. According to the Dieudonne-Schwartz theorem, the latter is obtained from the injectivity and the closure of the image of the conjugate convolution operator in the space of entire functions of exponential growth. The key moment of the proof is to establish the sequential sufficiency of sequence zeros of the characteristic function of the convolution operator in the space of entire functions. The set  $L \subset C$  is called sequentially sufficient in the space  $E$  if the sequence convergence to zero in every point  $z$  belonging to some compact set  $K$ ,  $K \subset C$  in  $E$  follows from the convergence to zero of any sequence of the functions in  $E$  on compact sets  $L$ . In passing, we also solve the Vallée Poussin problem for the convolution operator with the interpolation nodes in the zeros of the characteristic function with conjugate coefficients of the convolution operator.

Key words: convolution operator, sequentially sufficient set, Shapiro problem, de la Vallée Poussin problem.

УДК 538.9

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО И СТРУКТУРУ СУБМИКРОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

© Д.Д. Карамов, В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, Е.Ю. Боровикова

Представлены результаты влияния термической обработки на морфологию поверхности и надмолекулярную структуру субмикронных пленок термостойкого полимера. Методами атомно-силовой микроскопии показано, что шероховатость поверхности и толщина пленок полидифениленфталата не меняется при термообработке на воздухе вплоть до температуры 350°C. Визуализирована динамика термоокислительной деструкции, предложена модель, объясняющая стадии наблюдаемого процесса.

Ключевые слова: тонкие пленки, полидифениленфталат, АСМ, надмолекулярная структура, термоокислительная деструкция

**Введение.** Одна из важнейших задач современного материаловедения – это совершенствование имеющихся и создание новых диэлектрических покрытий для использования в микро- и нанoeлектронике. Главной проблемой здесь представляется создание тонкого бездефектного и воспроизводимого диэлектрического слоя на разных подложках. Широко используемые в настоящее время окисные пленки хорошо формируются только на соответствующих металлах или полупроводниках, а более сложные соединения требуют соответствующего технологического оборудования, которое в настоящее время еще не гарантирует высокой воспроизводимости образцов. Интересным подходом к решению данной проблемы представляется использование в качестве диэлектрического слоя полимерной пленки. Требуется, чтобы полимер покрывал поверхность по возможности тонким слоем, имел достаточную механическую прочность и термостойкость. Оказалось, что таким условиям удовлетворяют полимеры из класса полигетероариленов – полиариленфталаты. Кроме того, в субмикронных пленках этих несопряженных полимеров были обнаружены и исследованы эффекты электронно-

го переключения, электролюминесценции, электронной эмиссии [1]. Интенсивно исследуются процессы переноса заряда в области квазидвумерного электронного газа, сформированного на интерфейсе двух полимерных слоев [2].

Полидифениленфталат относят к полимерам с высокой термостойкостью. Температура начала разложения на воздухе выше 400°C. Однако традиционные методы исследования термостойкости полимеров (например, термогравиметрия) позволяют определить суммарную потерю массы полимерных образцов. При использовании субмикронных полимерных слоев принципиально важными становятся вопросы о качестве (шероховатости) поверхности, о точном измерении толщины слоя, о внутренней (надмолекулярной) структуре и о влиянии на параметры полимерной пленки термообработки при разных температурах. Для ответа на эти вопросы целесообразно использовать комплекс методов атомно-силовой микроскопии.

Ранее в работе [3] было показано, что при ровной и гладкой поверхности субмикронных пленок полидифениленфталата в объеме толщиной более 100 nm существует надмолекулярная структура, которая образована из ассоциатов макро-

КАРАМОВ Данфис Данисович – к.ф.-м.н., Уфимский научный центр РАН, e-mail: karamov\_danf@bk.ru  
КОРНИЛОВ Виктор Михайлович – д.ф.-м.н., Башкирский государственный педагогический университет им. Акмуллы, e-mail: kornilov@anrb.ru

ЛАЧИНОВ Алексей Николаевич – д.ф.-м.н., Уфимский научный центр РАН, e-mail: lachinov@anrb.ru  
БОРОВИКОВА Елена Юрьевна, Башкирский государственный педагогический университет им. Акмуллы, e-mail: lena.borovikova.1995@mail.ru

молекул в форме эллипсоидов с характерными размерами осей 28 и 100 nm. Показано, что надмолекулярная структура пленок формируется на стадии раствора полимера и обусловлена его релогическими свойствами.

Вопросы о стабильности обнаруженных супрамолекулярных образований, об изменениях, которые могут произойти с поверхностью пленок и надмолекулярными структурами при их термообработке принципиально важны, особенно при переходе к нанометровым масштабам исследования. Для решения этих вопросов была проведена серия экспериментов по исследованию качества поверхности и надмолекулярной структуры субмикронных пленок, в зависимости от термообработки при различных температурах.

**Объект и методы исследования.** Полидифениленфталид (ПДФ) – полимер с полярными функциональными группами класса полиарилленфталидов. ПДФ – это полимер с высокой химической стабильностью и термостойкостью, прозрачностью в видимом диапазоне спектра и высокой механической прочностью [4]. Молекулярный вес ~ 50 000–70 000 g/mol, в зависимости от условий синтеза без образования гелевой фракции [5]. Средняя линейная длина молекулы ~ 100–150 nm. Температура размягчения полимера составляет ~ 420°C, температура начала разложения на воздухе ~ 440°C [6], коксовое число 75–76 при образовании прочного прозрачного кокса, кислородный индекс 42–43.

Для изготовления пленок был использован раствор ПДФ в циклогексаноне с концентрацией 4% весовых. Раствор полимера выбранной концентрации наносился на подложку, укрепленную на держателе центрифуги. Скорость вращения составляла, как правило, 2000 об/мин. Время вращения равнялось 20 секундам. Образовавшаяся на подложке полимерная пленка проходила предварительную сушку на воздухе при комнатной температуре в течение 30–45 минут. Окончательная сушка для удаления остатков растворителя проводилась в сушильном шкафу при температуре 150°C в течение 45 минут.

Исследования структуры полимерных пленок были проведены методом атомно-силовой микроскопии на сканирующем мультимикроско-

пе СММ-2000Т в контактной моде. При анализе АСМ-изображений исследуемых пленок использовалась программное обеспечение «Master scan». Кроме возможности сканирования, она предназначена для получения 3D-изображения сканируемых поверхностей, измерения размеров по сечениям, анализа шероховатостей, морфологического и гранулометрического анализа выбранных объектов.

### Эксперимент

На рис. 1 представлено АСМ-изображение образца полированного кремния, покрытого полимерной пленкой. Часть пленки удалена механическим способом, образовавшаяся ступенька позволяет определить толщину полимерной пленки (~260 nm). Математическая обработка изображения (профиль на рис. 1) показывает, что неровности на поверхности полимера такого же порядка, как у подложки.

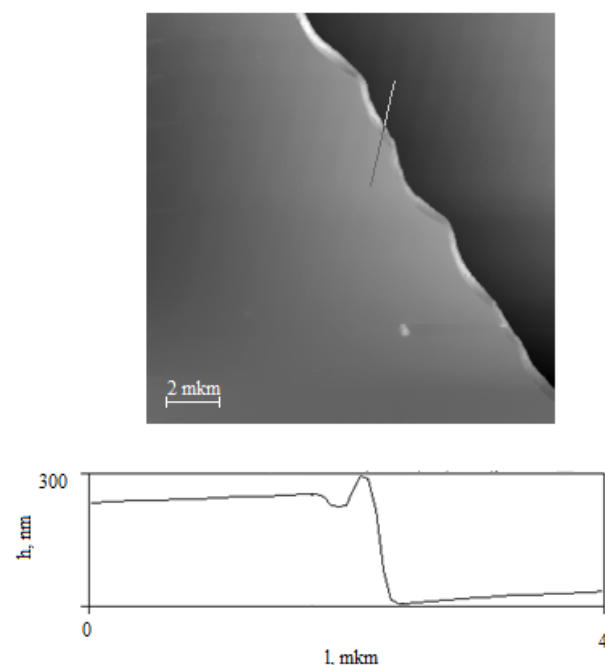


Рис. 1. АСМ изображение поверхности полированного кремния, покрытого полимерной пленкой и профиль поверхности вдоль измерительной линии

Отметим, что представленное на рис. 1 изображение соответствует пленке, термообработанной в процессе приготовления при температуре 150°C.

Многочисленные измерения показали, что нагревание пленочных образцов на воздухе до температур 350°C и последующее охлаждение не вли-

яет на шероховатость поверхности и не изменяет толщины полимерных пленок, При этом надмолекулярная структура и высокое качество поверхности сохраняются. С целью изучения термического разрушения пленки образец был нагрет до температуры 450°C. Нагрев в течение 3–5 минут приводит к существенному изменению морфологии поверхности полимерной пленки. На рис. 2 представлено АСМ изображение участка полимерной пленки после термического отжига при температуре 450°C на воздухе в течение 3 минут.

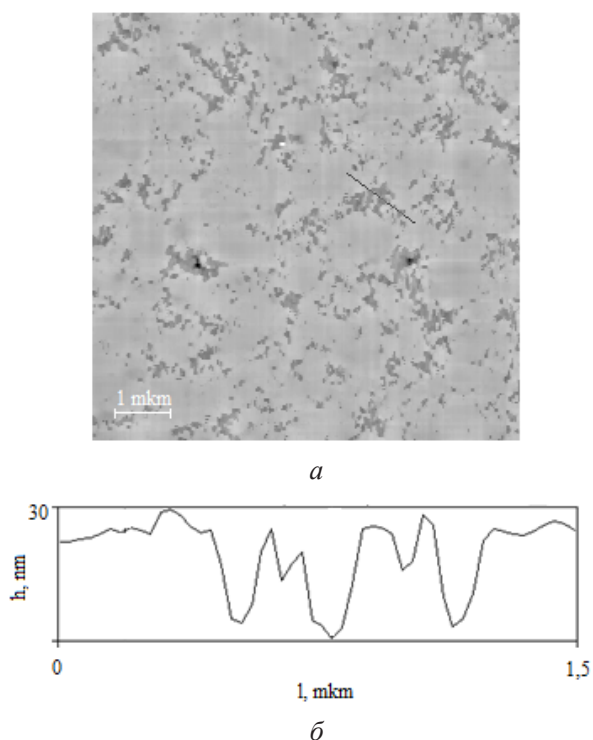


Рис. 2. АСМ изображение полимерной пленки после термического отжига при температуре 450°C на воздухе в течение 3 минут (а), профиль поверхности вдоль измерительной линии (б)

Видно, что в первую очередь деградирует самый верхний, контактирующий с воздухом слой на глубину порядка 20–30 нм. Одновременно отмечается изменение характера взаимодействия зонда с образцом, поверхность становится вязкой и получение изображений затрудняется.

Тем не менее, уменьшая площадь сканирования, можно получить четкое изображение образовавшейся на поверхности пленки структуры. Морфология поверхности представляет собой зернистую структуру, с размерами структурных элементов 6–15 нм (рис. 3).

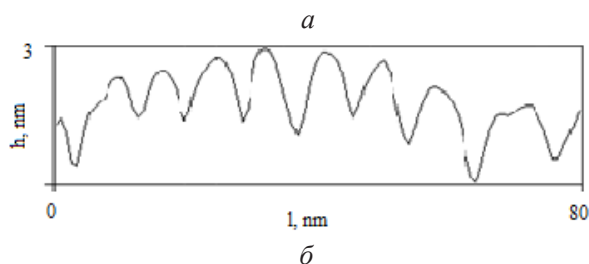
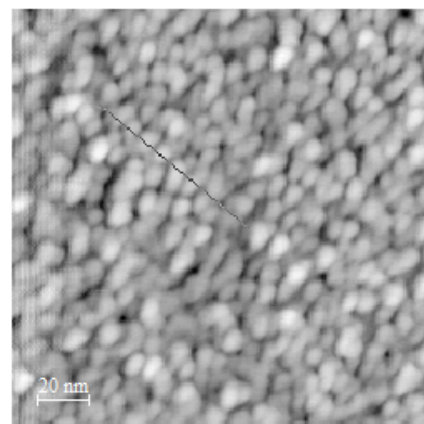


Рис. 3. АСМ изображение поверхности полимерной пленки после термического отжига при 450°C: морфология поверхности (а), профиль поверхности вдоль измерительной линии (б)

Для данной серии экспериментов также был проведен статистический анализ эффективного диаметра наблюдаемых объектов, усредненных по 20 измерениям при последовательном повороте на угол 10°. Результаты гранулометрического анализа объектов свидетельствуют о том, что более 60% объектов имеют характерный размер в интервале от 5 до 15 нм.

**Результаты и выводы.** Изменения, наблюдаемые на поверхности и в структуре пленки ПДФ при нагреве на воздухе, указывают на влияние кислорода на исследуемый объект, что согласуется с литературными данными [7, 8]. При термоокислительной деструкции кислород приводит к распаду макромолекул с образованием фрагментов тетрафенилметанового, гексафенилэтанового, антраценового и флуоренового типа, которые летучи при температурах деструкции. На начальном этапе (небольшие времена термообработки) происходит деградация верхнего слоя полимерной пленки. В работе [9] на основе результатов математического моделирования было высказано предположение, что су-

ществуют две энергетически выгодные конфигурации макромолекул: глобулярная изотактическая и линейная синдиотактическая. Можно предположить, что глобулярная структура способствует формированию ассоциатов в объеме пленки, а линейная синдиотактическая конфигурация отвечает за формирование поверхностных слоев. После деградации поверхностного слоя начинается интенсивная термоокислительная деструкция всего объема с образованием фрагментов различной молекулярной массы, вплоть до летучих. При охлаждении образца происходит конденсация фрагментов макромолекул и формирование зеренной структуры (см. рис. 3).

В качестве контрольного эксперимента для выявления влияния активного кислорода был проведен отжиг полимерной пленки в вакууме при температуре 500°C. В этом случае не происходит уменьшение толщины пленки и не наблюдаются зеренные структуры на поверхности полимерной пленки. При этом происходит незначительное изменение шероховатости поверхности, проявляются небольшие трещины. Это является свидетельством начала плавления и графитизации полимерной пленки. При исследовании объема полимерной пленки также не удалось обнаружить надмолекулярные образования в виде агрегатов макромолекул, характерных для образцов без высокотемпературного отжига.

В результате работы установлена возможность создания и эксплуатации сплошных и однородных по толщине субмикронных пленок ПДФ при температурах до 350°C без потери качества полимерной пленки.

Методики атомно-силовой микроскопии позволяют успешно диагностировать все стадии деструкции как поверхности, так и надмолекулярной структуры полимера.

#### Литература

1. Лачинов А.Н., Воробьева Н.В. Электроника тонких слоев широкозонных полимеров // УФН. 2006. Т. 176. № 12. С. 1249–1266.
2. Гадиев Р.М., Лачинов А.Н., Карамов Д.Д., Киселев Д.А., Корнилов В.М. Влияние толщины нанометровой пленки на свойства двумерного электронного газа границы двух диэлектриков // ЖЭТФ. 2016. Т. 150, Вып. 1. С. 168.

3. Карамов Д.Д., Корнилов В.М., Кульвеллис Ю.В., Набиуллин И.Р., Крайкин В.А., Ионова И.А. Исследование структуры перспективных полимерных материалов методами малоуглового рассеяния нейтронов и атомно-силовой микроскопии // Известия УНЦ РАН. 2016. № 1. С. 13–23.

4. Wu C.R., Lachinov A.N., Johansson N. et al. Some chemical and electronic structures of the non-conjugated polymer poly (3, 32-phthalidylidene-4, 42-biphenylene) // Synthetic Metals. 1994. V. 67. № 1–3. P. 125–128.

5. Салазкин С.Н., Золотухин М.Г., Ковардаков В.А., Рафиков С.Р., Дубровина Л.В., Гладкова Е.А., Павлова С.-С.А. Молекулярно-массовые характеристики поли(дифениленфталида) // Высокомолекулярные соединения. 1987. Т. 29, № 7. С. 1431–1437.

6. Салазкин С.Н., Шапошникова В.В. Синтез фталидсодержащих полимеров, перспективных для создания функциональных материалов различного назначения // Нанотехнологии. Наука и производство. 2009. № 3 (4). С. 3–26.

7. Крайкин В.А., Мусина З.Н., Галкин Е.Г., Егоров А.Е., Кузнецов С.И., Салазкин С.Н. Деструкция полтерфениленфталида при высоких температурах // Высокомолекулярные соединения А. 2006, Т. 48, № 11. С. 2159–2177.

8. Крайкин В.А., Шитиков А.В., Колосова Т.Н., Салазкин С.Н. Термостабильность и огнестойкость галогидзамещенных полидифениленфталидов. // Высокомолекулярные соединения Б. 1998. Т. 40, № 9. С. 1516–1521.

9. Байбулова Г.Ш., Галиев А.Ф., Жданов Э.Р., Корнилов В.М., Лачинов А.Н., Калимуллина Л.Р. Квантово-химические исследования надмолекулярной структуры полидифениленфталида // Вестник Ом. ун-та. 2014. № 2. С. 46–49.

#### References

1. Lachinov A.N., Vorobyeva N.V. Electronics of thin layers of wide-band polymers. Uspekhi fizicheskikh nauk, 2006, vol. 176, no. 12, pp. 1249–1266.
2. Gadiev R.M., Lachinov A.N., Karamov D.D., Kiselev D.A., Kornilov V.M. Effect of the nanofilm thickness on the properties of the two-dimensional electron gas at the interface between two dielectrics. Zhurnal teoreticheskoy i eksperimentalnoy fiziki, 2016, vol. 150, issue 1, p. 168.
3. Karamov D.D., Kornilov V.M., Kulvelis Yu.V., Nabiullin I.R., Kraykin V.A., Ionova I.A. Research on the structure of promising polymer materials using small-angle

neutron scattering and atomic force spectroscopy. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2016, no. 1, pp. 13–23.

4. Wu C.R., Lachinov A.N., Johansson N. et al. Some chemical and electronic structures of the non-conjugated polymer poly (3, 32-phthalidylidene-4, 42-biphenylene). *Synthetic Metals*, 1994, vol. 67, no. 1–3, pp.125–128.

5. Salazkin S.N., Zolotukhin M.G., Kovardakov V.A., Rafikov S.R., Dubrovina L.V., Gladkova E.A., Pavlova S.-S.A. Molecular-mass characteristics of poly (diphenylene phthalide). *Vysokomolekulyarnye soedineniya*, 1987, vol. 29, no. 7, pp. 1431–1437.

6. Salazkin S.N., Shaposhnikov V.V. Synthesis of promising phthalide-containing polymers for creating functional materials of various purposes. *Nanotekhnologii. Nauka i proizvodstvo*, 2009, no. 3(4), pp. 3–26.

7. Kraykin V.A., Musina Z.N., Galkin E.G., Egorov A.E., Kuznetsov S.I., Salazkin S.N. Degradation of poly (diphenylene phthalide) at high temperatures. *Vysokomolekulyarnye soedineniya A*, 2006, vol. 48, no. 11, pp. 2159–2177.

8. Kraykin V.A., Shitikov A.V., Kolosova T.N., Salazkin S.N. Thermostable and fireproof halogen-substituted poly (diphenylene phthalides). *Vysokomolekulyarnye soedineniya B*, 1998, vol. 40, no. 9, pp. 1516–1521.

9. Baybulova G.Sh., Galiev A.F., Zhdanov E.R., Kornilov V.M., Lachinov A.N., Kallimulina L.R. Quantum chemical research on the supramolecular structure of poly (diphenylene phthalide). *Vestnik Omskogo universiteta*, 2014, no. 2. pp. 46–49.



## INFLUENCE OF THERMAL PROCESSING ON QUALITY AND STRUCTURE OF SUBMICRON POLYMER FILMS

© D.D. Karamov<sup>1</sup>, V.M. Kornilov<sup>2</sup>, A.N. Lachinov<sup>1</sup>, E.Yu. Borovikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup>Akmullah Bashkir State Pedagogical University,  
3a, ulitsa Oktyabrskoy revolyutsii, 450008, Ufa, Russian Federation

The paper presents the results of the effect of heat treatment on the morphology and supramolecular structure of submicron heat-resistant polymer films. Using the AFM methods it is shown that the surface roughness and thickness of poly (diphenylene phthalide) films do not change under heat treatment in air up to 350°C. The dynamics of thermo-oxidative degradation is visualized, and a model is proposed to explain the stages of the observed process.

Key words: thin films, poly (diphenylene phthalide), AFM, supramolecular structure, thermo-oxidative degradation.



УДК 535.378

**Трибололюминесцентные сенсоры ударов и разломов**

© Г.Л. Шарипов, А.А. Тухбатуллин

Описаны конструкции и люминесцентные характеристики образцов сенсоров ударов и разломов, разработанных с использованием эффективных трибололюминесцентных светосоставов: сульфида цинка, сульфатов тербия и европия, а также композиций на основе полимерного эпоксидного клея и этих светосоставов в качестве наполнителей.

Ключевые слова: трибололюминесценция, сенсоры, сульфид цинка, сульфаты тербия и европия.

В последние 10–15 лет неуклонно растет интерес к трибололюминесценции (ТЛ, свечению при деструкции твердых тел [1–3]), что связано с возможностью ее применения в сенсорах (датчиках) обнаружения разрушений для мониторинга состояния технологических конструкций и изделий [4–7]. Информация о трещинообразовании в процессе производства или эксплуатации изделий позволяет прогнозировать и контролировать срок их службы. К основным преимуществам трибололюминесцентных сенсоров можно отнести: малое количество трибололюминесцентного состава в изделии, не влияющее на его механические свойства; возможность выбора наполнителей, способных к люминесценции в определенном диапазоне длин волн, для обнаружения разрушений в конкретном месте; большой интервал рабочих температур и длительный срок эксплуатации. Перспективными составами для разработки трибололюминесцентных сенсоров, в полной мере обладающими этими характеристиками, в последнее время признаются полимерные композиционные материалы с люминесцентными наполнителями [8].

В данном сообщении описаны конструкции и люминесцентные характеристики разработанных нами образцов сенсоров ударов и разломов с применением эффективных трибололюминесцентных светосоставов и полимерных композиций на их основе.

В качестве полимерной основы композиций использован эпоксидный клей стандартного состава: эпоксидно-диановая смола ЭД-20 с отвердите-

лем триэтилентетраминном (ТЭТА) в соотношении ЭД:ТЭТА = 9:1. Трибололюминесцентные светосоставы и наполнители трибололюминесцентных композиций представляют собой кристаллы сульфатов лантанидов и сульфида цинка, обладающие интенсивной ТЛ [2, 3, 9]. Кристаллы наполнителей марки «хч» вносились в свежеприготовленный клей из расчета: 0.1 г на 5 г клея. Время затвердевания композиции составляло 24 ч.

Конструкции разработанных сенсоров (датчиков) удара и разломов показаны на рис. 1. Используемые в этих сенсорах светосоставы при механическом воздействии на них излучают характерный свет в зеленой (сульфат тербия, главные максимумы 488, 543 нм) или красной (сульфат европия, 590, 613 нм) областях спектра (рис. 2), а также широкополосный свет с максимумом в районе 510 нм [4, 9] (сульфид цинка).

Загиб или разлом полимерной композиции (эпоксидный клей) с трибололюминесцентными кристаллами (сульфат тербия) (рис. 1, в) сопровождается вспышкой свечения, локализованной на возникающей трещине. Кратковременные вспышки света можно наблюдать невооруженным глазом также при одиночной ударной активации датчика удара (рис. 1, а). Регистрация сигнала вспышек осуществлялась на осциллографе Tektronix TDS 2024В с помощью детектора импульсных свечений – ФЭУ-39. Осциллограммы сигналов от светозлучающих составов-наполнителей приведены на рис. 3.

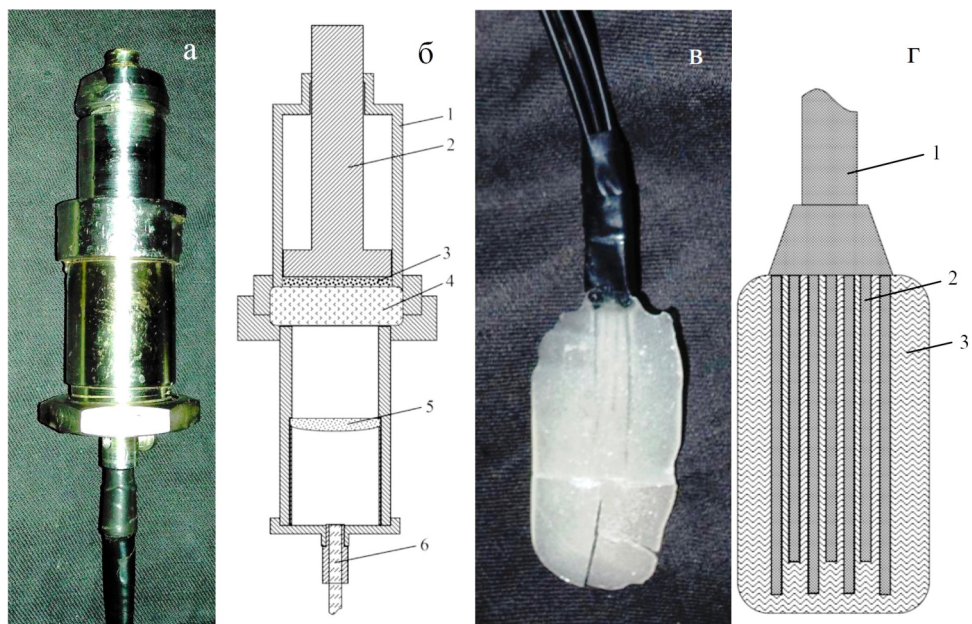


Рис. 1. Фотографии и схемы макета датчика удара (а, б) и сенсора разлома (в, з): б – 1 – рабочая ячейка, 2 – боек, 3 – светосостав, 4 – кварцевое окошко, 5 – собирающая линза, б – волоконно-оптический кабель; з – 1 – волоконно-оптический кабель, 2 – световоды, 3 – полимерный слой с триболюминесцентным наполнителем

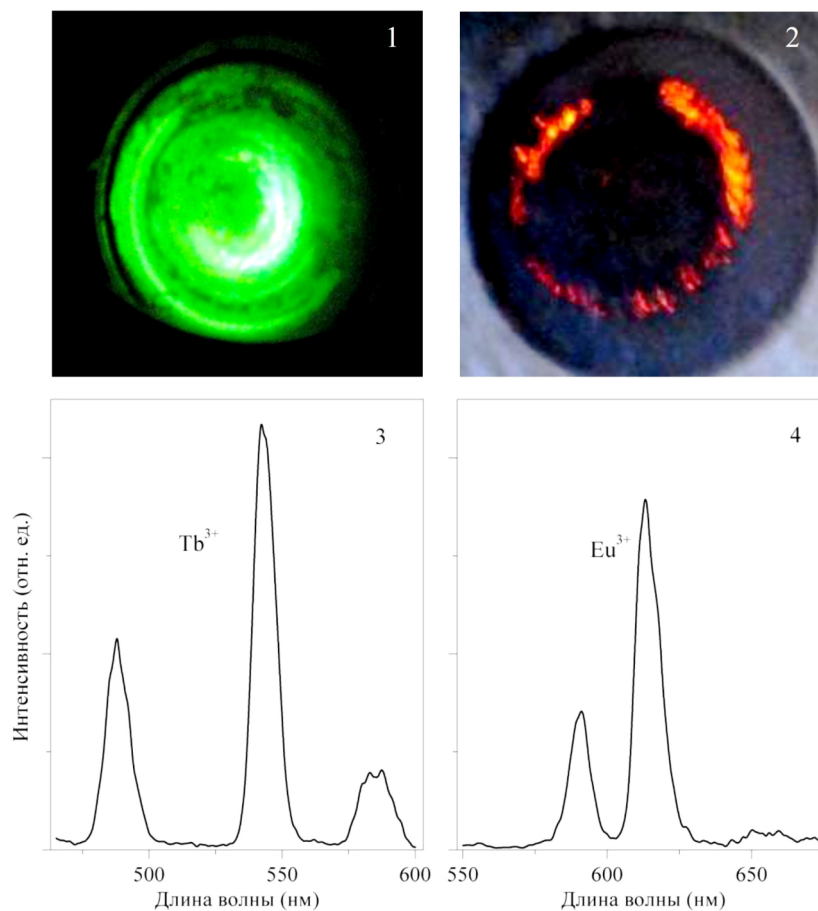


Рис. 2. Фотографии (1, 2) и спектры ТЛ (3, 4), полученные во время растирания кристаллов сульфатов тербия (1, 3) и европия (2, 4). Фотографии получены цифровым фотоаппаратом Nikon 3000D, спектры ТЛ – спектрофлуориметром Fluorolog-3

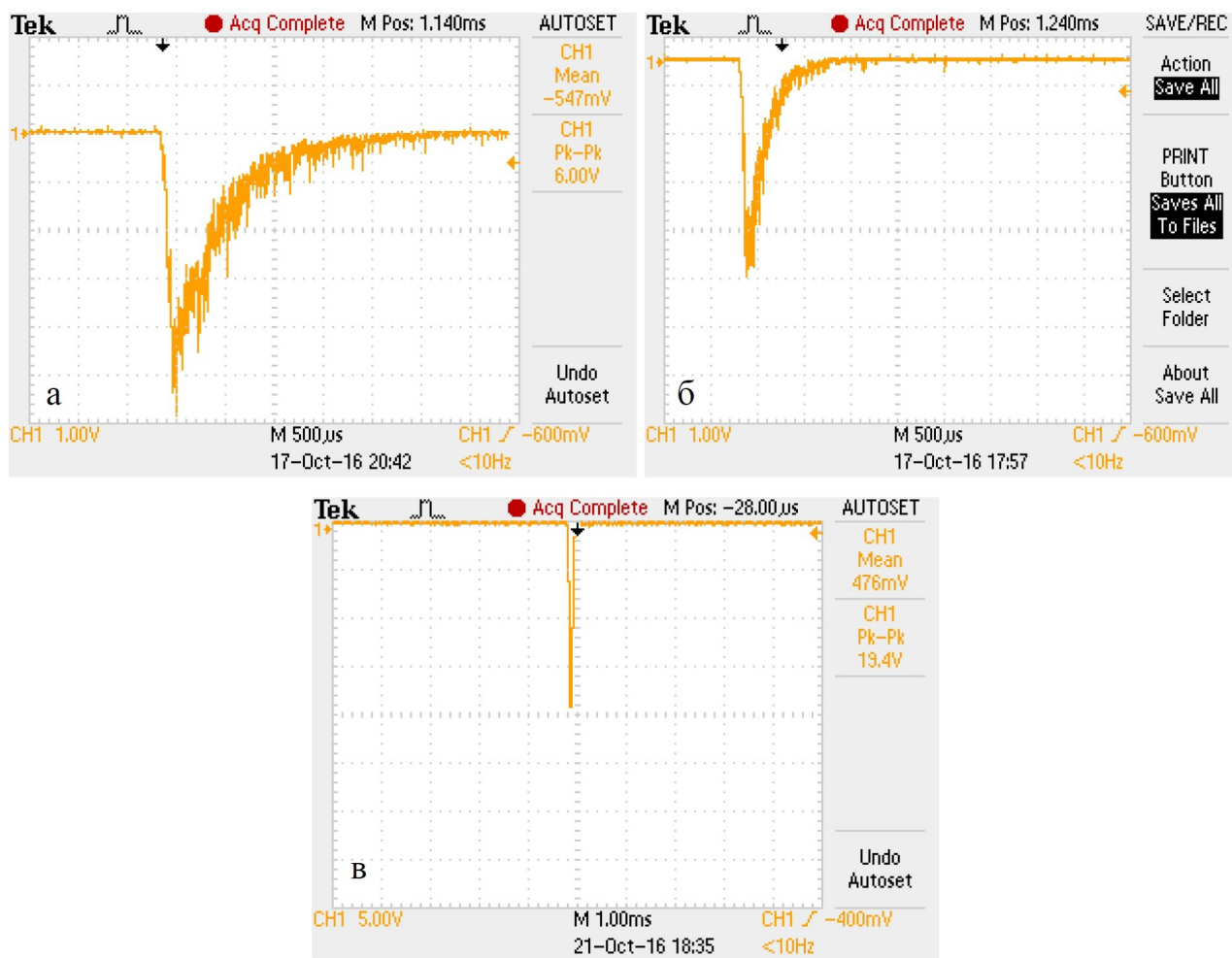


Рис. 3. Осциллограммы триболомнесцентных вспышек для наполнителей при одиночном ударе: *а* – сульфат тербия, *б* – сульфат европия, *в* – сульфид цинка

Кривые затухания интенсивности люминесценции при ударной активации свечения хорошо описываются простой экспонентой:

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right),$$

где  $I_0$  – максимальная интенсивность свечения в момент прекращения возбуждения,  $\tau$  – время затухания. Полученные из анализа этих кривых времена затухания составили: 0.6 мс ( $Tb^{3+}$ ), 0.19 мс ( $Eu^{3+}$ ) и 0.06 мс ( $ZnS$ ), что близко к известным временам затухания фотолуминесценции твердотельных солей лантанидов [10] и сульфида цинка [4, 9]. Из осциллограмм также видно, что по амплитуде вспышек светосоставы – соли лантанидов сравнимы с сульфидом цинка, а по интегральной интенсивности свечения превосходят его.

Разработанный триболомнесцентный датчик может быть применен, например, в качестве ограничителей ударных воздействий, а сенсор

разлома можно интегрировать в конструкцию изделия или распределить в объеме несущих элементов конструкций. Световой сигнал, возникающий при ударном воздействии или разломе, может передаваться по армирующим кварцевым волокнам самого композита к центральному регистрирующему устройству.

Таким образом, сконструированы сенсоры ударов и разломов, в которых были испытаны светосоставы на основе кристаллов сульфатов лантанидов и сульфида цинка. Показано, что наряду с ранее известным ярким светосоставом – сульфидом цинка – соединения лантанидов также перспективны для дальнейшей разработки различных триболомнесцентных сенсоров деструкции.

#### Литература

1. Sage I., Bourhil G. Triboluminescent materials for structural damage monitoring // J. Mater. Chem. 2001. V. 11. P.231–245.

2. Шарипов Г. Л., Тухбатуллин А.А., Абдрахманов А.М. Триболоминесценция кристаллов и суспензий неорганических солей лантанидов // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2011. Т. 47, № 1. С. 16–22.

3. Тухбатуллин А.А., Муфтахутдинов М.Р., Шарипов Г.Л. Триболоминесценция сульфатов лантанидов // Известия Уфимского научного центра РАН. 2013. № 4. С. 16–22.

4. Triboluminescence. Theory, Synthesis, and Application. Switzerland, 2016. 454 p.

5. Sage I.C., Geddes N.J. Triboluminescent damage sensors // U.S. Patent 5905260, 18.05.1999. 5 p.

6. Sage I., Humberrstone L., Oswald I., Lloyd P., Bourhill G. Getting light through black composites: embedded triboluminescent structural damage sensors // Smart Mater. Struct. 2001. V. 10. P. 332–337.

7. Татмышевский К.В., Рахманов З.Т., Макарова Н.Ю., Спажакин А.Г. Механолюминесцентный датчик удара // Патент РФ № 2305847. 10.09 2007. 9 с.

8. Joshi K., Scheiner M., Olawale D.O., Dickens T.J. Triboluminescent Sensors for Polymer-Based Composites // Triboluminescence. Theory, Synthesis, and Application. Switzerland, 2016. P. 305–332.

9. Shin S.W., Oh J.P., Hong C.W., Kim E.M., Woo J.J., Heo G.S., Kim J.H. Origin of mechanoluminescence from Cu-doped ZnS particles embedded in an elastomer film and its application in flexible electro-mechanoluminescent lighting devices // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2016. V. 8. P. 1098–1103.

10. Sharipov G.L., Tukhbatullin A.A., Mescheryakova E.S. The H<sub>2</sub>O/D<sub>2</sub>O isotope effect in crystalline lanthanide sulfates at photo-, radio-, and triboluminescence // Opt. Mater. 2016. V. 52. P. 44–48.

## References

1. Sage I., Bourhill G. Triboluminescent materials for structural damage monitoring // J. Mater. Chem. 2001. V. 11. P. 231–245.

2. Sharipov G.L., Tukhbatullin A.A., Abdrakhmanov A.M. Triboluminescence of crystals and suspensions of inorganic salts of lanthanides // Prot. Met. Phys. Chem. Surf. 2011. V. 47. P. 13–19.

3. Tukhbatullin A.A., Muftakhutdinov M.R., & Sharipov, G. L. Triboluminescence of lanthanide sulfates // Izvestia Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN. 2013. № 4. P. 16–22.

4. Triboluminescence. Theory, Synthesis, and Application. Switzerland, 2016. 454 pp.

5. Sage I., Geddes N.J. Triboluminescent damage sensors // U.S. Patent 5905260. 18.05.1999. 5 p.

6. Sage I., Humberrstone L., Oswald I., Lloyd P., Bourhill G. Getting light through black composites: embedded triboluminescent structural damage sensors // Smart Mater. Struct. 2001. V. 10. P. 332–337.

7. Tatmyshevskij K.V., Rakhmanov Z.T., Makarova N.Yu., Spazhakin A.G. Mechanical-luminescence striking sensor // RU Patent 2305847. 10.09 2007. 9 p.

8. Joshi K., Scheiner M., Olawale D.O., Dickens T.J. Triboluminescent Sensors for Polymer-Based Composites // Triboluminescence. Theory, Synthesis, and Application. Switzerland, 2016. P. 305–332.

9. Shin S.W., Oh J.P., Hong C.W., Kim E.M., Woo J.J., Heo G.S., Kim J.H. Origin of mechanoluminescence from Cu-doped ZnS particles embedded in an elastomer film and its application in flexible electro-mechanoluminescent lighting devices // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2016. V. 8. P. 1098–1103.

10. Sharipov G.L., Tukhbatullin A.A., Mescheryakova E.S. The H<sub>2</sub>O/D<sub>2</sub>O isotope effect in crystalline lanthanide sulfates at photo-, radio-, and triboluminescence // Opt. Mater. 2016. V. 52. P. 44–48.

## IMPACT AND FRACTURE TRIBOLUMINESCENT SENSORS

© G.L. Sharipov<sup>1</sup>, A.A. Tukhbatullin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup>Institute of Petrochemistry and Catalysis, RAS,  
141, prospekt Oktyabrya, 450075, Ufa, Russian Federation

This paper describes the design and characteristics of the samples of impact and fracture sensors developed using polymer-based triboluminescent composites (epoxy glue with light emitting fillers: zinc sulfide, terbium sulfate, europium sulfate).

Key words: triboluminescence, sensors, zinc sulfide, terbium sulfate, europium sulfate.

УДК 539.216.2:537.635

**РЕЗОНАНСНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ДВУХСЛОЙНОЙ ОБМЕННО-СВЯЗАННОЙ  
ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПЛЕНКИ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОДНООСНОЙ  
И КУБИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ ПРИ НАКЛОННОМ НАМАГНИЧИВАНИИ**

© Н.В. Шульга, Р.А. Дорошенко

Проведено численное исследование резонансной динамической восприимчивости ферромагнитных двухслойных обменно-связанных пленок с комбинированной кубической и одноосной магнитной анизотропией слоев при различных направлениях внешнего магнитного поля. Построены зависимости частот ферромагнитного и спин-волнового резонансов, а также интегральной динамической восприимчивости от направления внешнего поля. Проведено сравнение этих зависимостей с аналогичными зависимостями, построенными для образца обладающего одноосной анизотропией слоев «легкая плоскость» и «легкая ось». Изучено происходящее при повороте магнитного поля изменение профилей динамической компоненты намагниченности по толщине пленки при ферромагнитном и спин-волновых резонансах.

Ключевые слова: ферромагнитный резонанс, спин-волновой резонанс, двухслойная пленка, динамическая восприимчивость.

Ферромагнитный резонанс продолжает оставаться одним из основных методов изучения параметров многослойных ферромагнитных пленок. В данной статье мы приводим результаты численного исследования высокочастотных свойств двухслойной пленки, чьи параметры близки к двухслойной пленке феррита-граната. При возбуждении резонанса однородным переменным магнитным полем в такой структуре наблюдаются две линии ферромагнитного резонанса (ФМР), а также серия спин-волновых резонансов (СВР) между ними [1]. СВР серия обусловлена отражением спиновых колебаний на границе одного из слоев. При этом количество фиксируемых СВР мод зависит от направления внешнего магнитного поля и толщины слоев пленки [2].

Предложенный в работе [3] метод, основанный на численном расчете динамической восприимчивости, позволяет исследовать зависимости частот ФМР двухслойной ферромагнитной пленки в широких пределах изменения внешнего магнитного поля. Поскольку упомянутый метод не постулирует а priori какую-либо форму зависимости переменных составляющих намагниченности от координат, то возникла возможность изучать профили возбуждений

сигналов ФМР и СВР мод. Этот метод был использован для изучения высокочастотных свойств двухслойной ферромагнитной пленки конечной толщины обладающей анизотропией типа «легкая плоскость» и «легкая ось». Было показано, что при отличном от нуля параметре межслойного обменного взаимодействия динамические компоненты намагниченности при ферромагнитном резонансе распределены по толщине такой пленки неоднородно [4]. Описана эволюция профилей ФМР и СВР мод при изменении величины внешнего магнитного поля [4], а также его направления при различных толщинах слоев пленки [5]. Далее этот метод был обобщен на случай ферромагнитных пленок с комбинированной одноосной и кубической анизотропией слоев [6]. Дальнейшие исследования показали, что не только некоторые особенности зависимости частоты от поля могут свидетельствовать о происходящих изменениях в распределении равновесной и динамической компонент намагниченности. Об этих изменениях можно судить и по зависимости интегральной динамической восприимчивости от поля. В работе [7] было изучено изменение частот ферромагнитного резонанса и динамической восприимчивости при намагничивании

ШУЛЬГА Николай Владимирович – к.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: shulga@anrb.ru

ДОРОШЕНКО Рюрик Александрович – д.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: dar@anrb.ru

пленок вдоль направлений [100], [010] и [011]. Как уже отмечалось выше, резонанс при наклонном намагничивании численно исследовался для образцов, обладающих одноосной анизотропией типа «легкая плоскость» и «легкая ось» [5]. Но в экспериментах изучаются пленки ферритов-гранатов, которые обладают комбинированной одноосной и кубической анизотропией слоев [1–2]. Поэтому представляет интерес провести сравнительный анализ поведения ФМР мод и интегральной динамической восприимчивости для этих двух случаев. Также будет рассмотрено происходящее при наклонном намагничивании изменение профилей динамической компоненты намагниченности резонансных мод по толщине пленки.

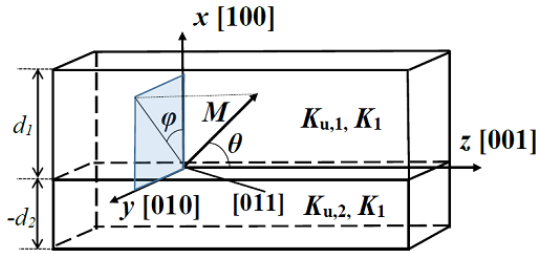


Рис. 1. Система координат

Рассмотрим двухслойную, обменно-связанную ферромагнитную пленку, находящуюся во внешнем магнитном поле  $\mathbf{H}$ . Геометрия пленки показана на рис. 1. Слои пленки обладают одноосной анизотропией разных знаков и одинаковой кубической анизотропией. Толщина слоев  $d_i$ ,  $i=1, 2$  конечна. Нормаль к пленке совпадает с осью координат  $x$ , а также с осью [100] кристалла и осью одноосной анизотропии. Направление намагниченности  $\mathbf{M}$  характеризуется полярным углом  $\theta$ , который откладывается от оси [001] кристалла, совпадающей с осью  $z$  и азимутальным углом  $\varphi$ , который откладывается от оси  $x$ . Предполагается, что ширина слоев бесконечна, поэтому направление намагниченности зависит только от координаты  $x$ , а в плоскости пленки намагниченность распределяется однородно.

Функционал энергии системы включает в себя энергию кубической анизотропии, одноосной магнитной анизотропии типа «легкая плоскость» и «легкая ось», энергию спонтанной намагниченности во внешнем магнитном поле, энергию обменного взаимодействия внутри слоев, а также энергию межслойного обменного взаимодействия:

$$W = \sum_{i=1}^2 \int V_i \left\{ \frac{K_1}{M_i^4} \{ \mathbf{M}_{x,i}^2 \mathbf{M}_{y,i}^2 + \mathbf{M}_{x,i}^2 \mathbf{M}_{z,i}^2 + \mathbf{M}_{z,i}^2 \mathbf{M}_{y,i}^2 \} - \frac{K_{u,i}^*}{M_i^2} \mathbf{M}_{x,i}^2 - \mathbf{M}_i \mathbf{H} + \frac{\alpha_i}{2M_i^2} (\partial \mathbf{M}_i / \partial x)^2 \right\} - \int \frac{J}{M_1 M_2} \mathbf{M}_1 \mathbf{M}_2 dS. \quad (1)$$

Здесь  $K_{u,i}^* = K_{u,i} - 2\pi M_i^2$  – эффективные константы магнитной анизотропии, учитывающие размагничивающее влияние поверхности слоев;  $M_i$  – намагниченности насыщения слоев;  $K_1$  – первая константа кубической анизотропии;  $\alpha_i$  – константа обменного взаимодействия,  $J$  – постоянная межслойного обменного взаимодействия.

Поставленная задача решалась численно. Коротко изложим здесь методику решения, более подробно она рассмотрена в работах [3–7]. Каждый слой пленки разбивается на однородно намагниченные плоские ячейки. Намагниченность ячейки с номером  $l$  мы обозначим как  $\mathbf{m}_l$ . Таким образом, функционал энергии (1) преобразуется в сумму энергий этих ячеек. Минимизируя энергию с помощью стандартных методов многомерной минимизации [8], получим равновесное распределение намагниченности в двухслойной пленке. Динамика намагниченности в каждой ячейке описывается системой уравнений Ландау–Лифшица. Линеаризуя полученную систему уравнений относительно малых отклонений векторов намагниченности ячеек от своего равновесного направления  $\delta \mathbf{m}_l$ , сведем задачу получения собственных частот пленки к решению обобщенной проблемы собственных значений для полученной таким образом системы линейных уравнений. При вычислении динамической восприимчивости в энергию системы добавляется член вида  $\delta \mathbf{m}_l \mathbf{h}$ , где  $\mathbf{h}$  – переменное магнитное поле, а в систему уравнений Ландау–Лифшица добавляется релаксационный член в форме Гильберта [9]. Решая полученную после линеаризации систему уравнений, определяют динамические составляющие намагниченности  $\delta \mathbf{m}_l$ . Затем вычисляются значения компонент динамической восприимчивости каждой ячейки:

$$\chi_{i,k,l} = \delta m_{l,i} / |h_k|, \quad (i, k) = (x, y, z). \text{ Просуммировав их по всем ячейкам, получим значения компонент интегральной динамической восприимчивости. Далее в статье мы рассматриваем ее мнимую часть } \chi_{i,k}''.$$

Расчет выполнен для параметров двухслойной пленки, характерных для пленки феррита-граната [2]:  $M_1=30$  Гс,  $M_2=70$  Гс,  $J=0,2$  см<sup>-1</sup>,  $\alpha_{1,2}=10^{-7}$  эрг/см. Толщины слоев:  $d_1=0,5 \times 10^{-4}$  см,  $d_2=0,18 \times 10^{-4}$  см. Параметры анизотропии:  $K_{u,1}^*=-2 \times 10^4$  эрг/см<sup>3</sup>,  $K_{u,1}^*=7 \times 10^4$ ,  $K_f=-2 \times 10^4$  эрг/см<sup>3</sup>. Внешнее магнитное поле величиной  $3 \times 10^3$  Э разворачивается в плоскости (011̄). При такой напряженности магнитного поля пленка оказывается намагниченной однородно по полю, когда оно направлено параллельно осям [100] и [011]. При других направлениях внешнего поля слои пленки намагничены неоднородно. Однако, как показывают наши расчеты, намагниченность насыщения слабо зависит от координаты  $x$  везде, за исключением области вблизи границы раздела слоев, где имеется магнитная неоднородность.

На рис. 2 представлены зависимости интегральной динамической восприимчивости нижней ветви ФМР (рис. 2, а) и частот верхней и нижней мод ФМР (рис. 2, б) от направления внешнего магнитного поля для образца, обладающего одноосной анизотропией слоев «легкая плоскость» и «легкая ось», и образца с комбинированной кубической и одноосной магнитной анизотропией слоев. У образца, обладающего комбинированной анизотропией, частота нижней ветви ФМР для всех рассмотренных направлений намагниченности лежит выше частоты ФМР образца, обладающего одноосной анизотропией, за исключением направления [011], когда они совпадают. Верхняя ветвь ФМР у образца с комбинированной анизотропией лежит ниже верхней ветви у образца с одноосной анизотропией в некотором диапазоне углов вблизи нормали к плоскости пленки. Величина этого диапазона тем меньше, чем больше постоянная кубической анизотропии.

Было исследовано поведение диагональных компонент тензора интегральной динамической восприимчивости. Далее подробно рассматривается поведение интегральной динамической восприимчивости нижней ветви ФМР, ее поведение для верхней ветви аналогично. Компоненты  $\chi''_{x,x}$  и  $\chi''_{y,y}$  у обоих образцов ведут себя похожим образом: они возрастают от значений, близких к нулю, для поля, направленного вдоль нормали, и достигают максимума, когда поле оказывается направлено параллельно плоскости пленки.

Компонента  $\chi''_{z,z}$  (рис. 2, а) максимальна вблизи нормали к плоскости пленки, затем снижается. Еще один максимум наблюдается вблизи направления поля, при котором происходит изменение локализации мод между слоями пленки. На зависимостях частот ФМР при этом отмечается наибольшее сближение мод.

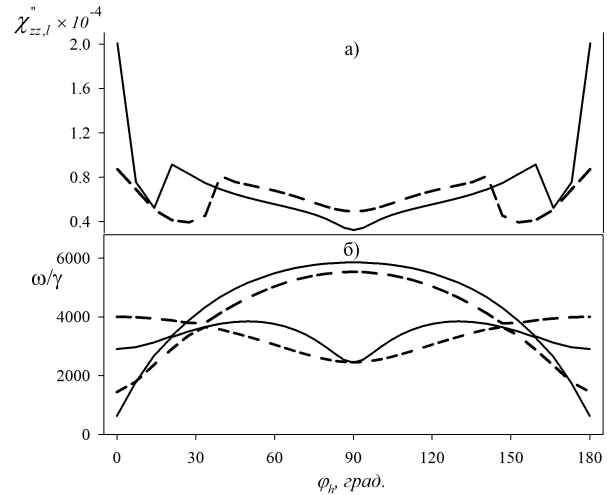


Рис. 2. Зависимость: а – интегральной динамической восприимчивости и б – частот верхней и нижней ФМР мод от направления внешнего магнитного поля. Параметры анизотропии:  $K_f=-2 \times 10^4$  эрг/см<sup>3</sup> – сплошные кривые,  $K_f=0$  эрг/см<sup>3</sup> – пунктирные кривые

На рис. 3 представлены зависимости частот ФМР и СВР мод от направления внешнего магнитного поля для образца, обладающего комбинированной кубической и одноосной анизотропией слоев. Количество СВР мод, лежащих между модами ферромагнитного резонанса, зависит от направления внешнего магнитного поля.

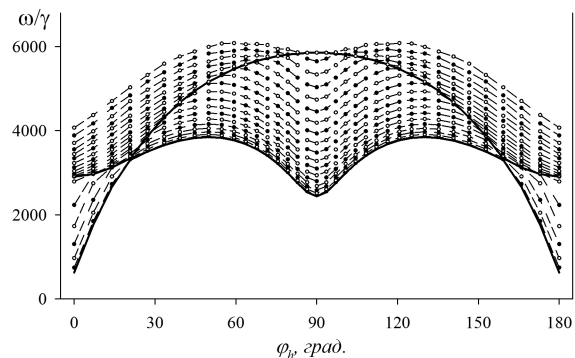


Рис. 3. Зависимости частот ФМР и СВР мод от направления внешнего магнитного поля. Пунктиром обозначены СВР моды, сплошные линии – ФМР моды

Рассмотрим, как изменяется распределение динамической восприимчивости резонансных мод по толщине пленки с изменением направ-

ления поля. На рис. 4 представлены зависимости для нижней моды ФМР для различных направлений внешнего поля. Когда внешнее поле направлено по нормали к плоскости пленки (рис. 4, а), резонансная намагниченность локализована во втором слое. По мере того, как поле поворачивается к направлению плоскости пленки, локализация резонансной намагниченности постепенно смещается сначала к межслойной границе (рис. 4, б), а затем и в первый слой. По мере приближения внешнего поля к направлению параллельно плоскости пленки, динамическая восприимчивость оказывается полностью локализованной в первом слое (рис. 4, в).

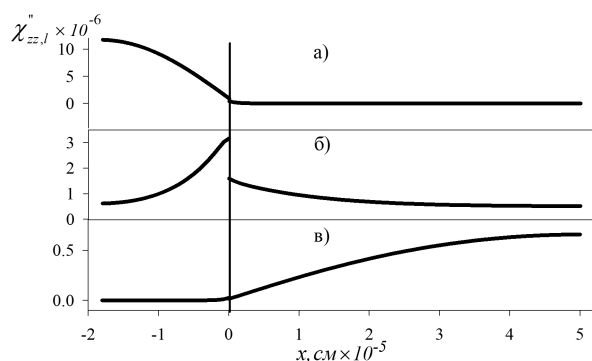


Рис. 4. Распределение динамической восприимчивости низкочастотной моды ФМР по толщине пленки. Внешнее поле направлено под углами:  $\varphi_h = 0^\circ$  (а);  $\varphi_h = 15^\circ$  (б);  $\varphi_h = 90^\circ$  (в)

На рис. 5 приведены зависимости для четвертой СВР моды. Когда внешнее поле направлено по нормали к плоскости пленки (рис. 5, а), эта СВР мода лежит между ФМР модами. Она возбуждается в том же слое, что и нижняя ФМР мода. При повороте поля, когда ФМР моды начинают сближаться, эта СВР мода оказывается выше верхней ФМР моды (см. рис. 5, б). СВР моды, лежащие выше верхней ФМР моды, охватывают оба слоя пленки. При дальнейшем повороте поля она снова оказывается между модами ФМР и возбуждается в первом слое (рис. 5, в). Она возбуждается в первом слое, так же, как и нижняя мода ФМР. Вслед за группой СВР мод лежит высокочастотная мода ФМР (рис. 6). Возбуждение резонансной намагниченности в этом случае охватывает оба слоя. При этом в слое, в котором происходит возбуждение намагниченности, соответствующее низкочастотной моде ферромагнитного резонанса, обнаруживается спин-волновой резонанс, в то время как в соседнем слое – ферромагнитный резонанс. Когда

внешнее поле направлено по нормали к плоскости пленки, высокочастотная мода ФМР локализована в первом слое (рис. 6, а, б). Номер лежащей в соседнем слое СВР моды зависит от направления поля. При смене локализации мод в первом слое происходит формирование второй моды СВР, а высокочастотная ФМР мода формируется во втором слое (рис. 6, в).

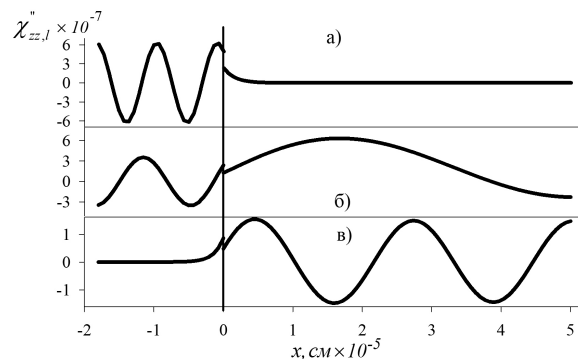


Рис. 5. Распределение динамической восприимчивости СВР по толщине пленки. Внешнее поле направлено под углами:  $\varphi_h = 0^\circ$  (а);  $\varphi_h = 15^\circ$  (б);  $\varphi_h = 45^\circ$  (в)

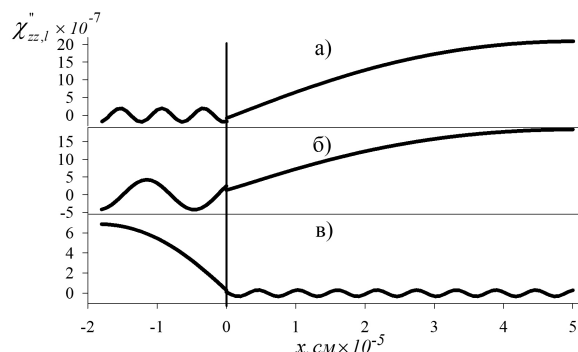


Рис. 6. Распределение динамической восприимчивости высокочастотной моды ФМР по толщине пленки. Внешнее поле направлено под углами:  $\varphi_h = 0^\circ$  (а);  $\varphi_h = 15^\circ$  (б);  $\varphi_h = 90^\circ$  (в)

Проведено численное исследование динамической резонансной восприимчивости в двухслойной ферромагнитной пленке, обладающей комбинированной кубической и одноосной магнитной анизотропией слоев. Получены зависимости частот мод ферромагнитного и спин-волнового резонансов, а также интегральной динамической восприимчивости от направления внешнего магнитного поля. Сравнение этих зависимостей с аналогичными зависимостями для образца, обладающего одноосной анизотропией слоев «легкая плоскость» и «легкая ось», показало, что у образца, обладающего комбинированной анизотропией, частота нижней ветви ФМР для всех рассмотренных на-



правлений намагниченности лежит выше частоты ФМР образца, обладающего одноосной анизотропией, за исключением направления [011], когда они совпадают. Верхняя ветвь ФМР у образца с комбинированной анизотропией лежит ниже верхней ветви у образца с одноосной анизотропией в некотором диапазоне углов вблизи нормали к плоскости пленки. Полученные частотные зависимости качественно согласуются с экспериментальными данными [1–2], а также общими выводами работы [5].

Обнаружено, что диагональные компоненты динамической восприимчивости обоих образцов ведут себя похожим образом: компоненты  $\chi''_{x,x}$  и  $\chi''_{y,y}$  возрастают от значений, близких к нулю, для поля, направленного вдоль нормали, и достигают максимума, когда поле оказывается направлено параллельно плоскости пленки. Компонента  $\chi''_{z,z}$  максимальна вблизи нормали к плоскости пленки, затем снижается. Показано, что смена локализации ФМР мод между слоями приводит как к сближению ветвей ФМР на зависимости частоты, так и к появлению локального максимума на зависимости интегральной восприимчивости.

#### Литература

1. Grishin A.M., Dellalov V.S., Shkar V.F., Nikolaev E.I., Linnik A.I. Spin-wave resonances in two-layer garnet films // Phys. Letters. A. 1989. V. 140. P. 133–135.
2. Dan'shin N.K., Dellalov V.S., Linnik A.I., Shkar' V.F. Spin-wave resonances in a nonuniform bilayer iron-garnet film // Phys. Solid State. 1999. V. 41. P. 1329–1332.
3. Шульга Н.В., Дорошенко Р.А. Высоочастотные свойства двухслойной обменно-связанной ферромагнитной структуры // ФММ. 2012. Т. 113, № 7. С. 675–678.
4. Шульга Н.В., Дорошенко Р.А. Резонансные моды двухслойной обменно-связанной ферромагнитной пленки // ФММ. 2013. Т. 114, № 12. С. 1063–1067.
5. Шульга Н.В., Дорошенко Р.А. Резонансные моды двухслойной обменно-связанной ферромагнитной пленки

при наклонном намагничивании // ФММ. 2015. Т. 116, № 2. С. 150–155.

6. Шульга Н.В., Дорошенко Р.А. Ферромагнитный резонанс в двухслойной обменно-связанной ферромагнитной пленке с комбинированной одноосной и кубической анизотропией в слоях // ФММ. 2016. Т. 117, № 2. С. 124–129.

7. Shulga N.V., Doroshenko R.A., The resonance susceptibility of two-layer exchange-coupled ferromagnetic film with a combined uniaxial and cubic anisotropy in the layers // Journal of magnetism and magnetic materials. 2016. V. 419. P. 512–516.

8. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. Numerical Recipes in C. Cambridge: Cambridge University, 1992. 994 p.

9. Гуревич А.Г., Мелков Г.А. Магнитные колебания и волны. М.: Физматлит, 1994. 464 с.

#### References

1. Grishin A.M., Dellalov V.S., Shkar V.F., Nikolaev E.I., Linnik A.I. Spin-wave resonances in two-layer garnet films // Phys. Letters. A. 1989. vol. 140. pp. 133–135.
2. Dan'shin N.K., Dellalov V.S., Linnik A.I., Shkar' V.F. Spin-wave resonances in a nonuniform bilayer iron-garnet film // Phys. Solid State. 1999, vol. 41. pp. 1329–1332.
3. Shulga N.V., Doroshenko R.A. High frequency properties of two-layer exchange-coupled ferromagnetic structures // The physics of metals and metallography. 2012, vol. 113. № 7, pp. 637–640.
4. Shulga N.V., Doroshenko R.A. Resonance modes of two-layer exchange-coupled ferromagnetic film // The physics of metals and metallography. 2013. vol. 114, № 12. pp. 981–984.
5. Shulga N.V., Doroshenko R.A. Resonance modes of a two-layer exchange-coupled ferromagnetic film upon oblique magnetizing // The physics of metals and metallography, 2015, vol. 116, № 2, pp. 141–146.
6. Shulga N.V., Doroshenko R.A. Ferromagnetic resonance in a two-layer exchange-coupled ferromagnetic film with a combined uniaxial and cubic anisotropy in the layers // The physics of metals and metallography. 2016. vol. 117, № 2. pp. 116–121.
7. Shulga N.V., Doroshenko R.A., The resonance susceptibility of two-layer exchange-coupled ferromagnetic film with a combined uniaxial and cubic anisotropy in the layers // Journal of magnetism and magnetic materials. 2016. vol. 419. pp. 512–516.
8. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. Numerical Recipes in C. Cambridge: Cambridge University, 1992. 994 p.
9. Gurevich A.G., Melkov G.A. Magnetic Oscillations and Waves. Moscow, Fizmatlit, 1994, 464 p.

## THE RESONANCE SUSCEPTIBILITY OF TWO-LAYER EXCHANGE-COUPLED FERROMAGNETIC FILM WITH A COMBINED UNIAXIAL AND CUBIC ANISOTROPY OF LAYERS WITH INCLINED MAGNETIZATION

© N.V. Shul'ga, R.A. Doroshenko

Institute of Molecule and Crystal Physics, Ufa Scientific Center, RAS,  
151, Prospekt Oktyabrya, 450075, Ufa, Russian Federation

A numerical investigation of the integrated dynamic susceptibility of ferromagnetic two-layer exchange-coupled films with a combined cubic and uniaxial magnetic anisotropy of layers has been performed at different directions of an external magnetic field. The dependences of the frequencies of the ferromagnetic, spin-wave resonances and integrated dynamic susceptibility on the direction of the external field have been plotted. A comparison is made of these dependences with analogous dependences plotted for a sample with an easy-plane and easy-axis anisotropies of the layers. The change in the profiles of the dynamic component of the magnetization over the film thickness during the rotation of the magnetic field have been studied upon the ferromagnetic and spin-wave resonances.

Key words: ferromagnetic resonance, spin-wave resonance, two-layer film, dynamic susceptibility.

УДК 538.9

**АТОМАРНО ГЛАДКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ И ПОВЕРХНОСТНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ СУБМИКРОННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА**

© Д.Д. Карамов, Д.А. Киселев, М.Д. Малинкович,  
В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, Р.М. Гадиев

Рассмотрена проблема поверхностного дипольного упорядочения ультратонких полимерных слоев. Экспериментально исследованы пленки полидифениленфталида, в состав молекул которых входит боковая группа с относительно большим дипольным моментом. При помощи методов атомно-силовой микроскопии исследованы метрологические параметры поверхности в зависимости от толщины полимерной пленки. Установлено, что величина шероховатости соответствует атомарно гладкой поверхности. Методом сканирующей микроскопии пьезоэлектрического отклика исследованы процессы поляризации и релаксации в полимерных пленках разной толщины. Обнаружено проявление спонтанной поляризации. Наблюдается переключение поляризации, проявляющееся в смене контраста сигнала пьезоотклика при приложении поля различной полярности. Наличие таких явлений привлекается для объяснения уникальных электронных свойств границ раздела полимерных диэлектриков.

Ключевые слова: тонкие пленки, полимеры, атомно-силовая микроскопия, поверхностная поляризация.

**Введение.** В последнее время появилось много работ, посвященных изучению аномальных электронных свойств, наблюдающихся вдоль границ раздела двух диэлектриков, в том числе и полимерных [1, 2]. Одним из условий возникновения такого рода свойств вдоль границы раздела считается наличие дипольных молекулярных групп в составе материала. В частности, в работах [3, 4] описаны необычные электрофизические свойства, наблюдаемые вдоль границы раздела полимер–полимер. На основе полученных данных был сделан вывод о том, что высокая электропроводность вдоль границы раздела пленок двух полимерных диэлектриков является следствием нарушения непрерывности поляризованной среды на границе раздела между двумя поляризованными пленками

(«поляризационная катастрофа»). При этом за поляризацию органической среды ответственны функциональные боковые фталидные группы с относительно большим дипольным моментом. Локализованное в области интерфейса поле диполей способствует переносу зарядов, о чем свидетельствуют повышенные относительно объемных значения электропроводности и подвижности носителей заряда, причем уменьшение толщины полимерной пленки в структуре полимер/полимер приводит к заметному уменьшению сопротивления вдоль границы раздела диэлектрических пленок [4]. Очевидно, что параметрами этого локального поля можно управлять путем изменения геометрии структуры, молекулярных параметров либо с помощью внешнего электрического поля.

КАРАМОВ Данфис Данисович – к.ф.-м.н., Уфимский научный центр РАН, Восточная экономико-юридическая гуманитарная академия, e-mail: karamov\_danfis@bk.ru

КИСЕЛЕВ Дмитрий Александрович – к.ф.-м.н., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», e-mail: dm.kiselev@gmail.com

МАЛИНКОВИЧ Михаил Давыдович – к.ф.-м.н., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», e-mail: malinkovich@yandex.ru

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

ЛАЧИНОВ Алексей Николаевич – д.ф.-м.н., Уфимский научный центр РАН, e-mail: lachinov@anrb.ru

ГАДИЕВ Радик Мансафович – к.ф.-м.н., Башкирский государственный педагогический университет им. Акмуллы, e-mail: gadiev.radik@gmail.com

При формировании полимерных пленок поверхность оказывает ориентирующее воздействие на макромолекулы или их структурные звенья, находящиеся на границе раздела. В этой связи граница раздела и область полимерного материала, прилегающая к этой границе, может обладать отличными от объемного материала свойствами вплоть до формирования квазидвумерного электронного газа.

При исследовании свойств двумерного электронного газа необходимо учитывать процессы рассеяния носителей заряда. Считается, что основным механизмом этого процесса при низких температурах является рассеяние на шероховатостях границы раздела.

В связи с этим были поставлены две взаимосвязанные задачи. Во-первых, исследовать шероховатость поверхности методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) в зависимости от толщины полимерных пленок. Во-вторых, провести прямые исследования поверхностной поляризации пленок ПДФ при помощи методик силовой микроскопии пьезоотклика (СМП). Методика силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика широко применяется для определения сегнетоэлектрических свойств тонких пленок. Она позволяет выявлять направление вектора поляризации, исследовать кинетику локального переключения поляризации и обладает рядом других возможностей. В обзоре [5] отмечено, что широкое использование СМП привело к увеличению количества сообщений о многократном наблюдении так называемых сегнетоподобных (ferroelectric-like) явлений, в том числе остаточной поляризации и электромеханической петли гистерезиса в материалах, которые не являются сегнетоэлектрическими в объеме, или в случаях, когда размерные эффекты, как ожидалось, должны были подавить сегнетоэлектричество.

**Объект и методика исследования.** Исследуемый полимер из класса полигетероариленов – полидифениленфталид в обычном состоянии является диэлектриком, характеризующимся следующими электрофизическими и молекулярными параметрами: ширина запрещенной зоны  $\sim 4.3$  eV, электронная работа выхода  $\sim 4.2$  eV, электронное сродство  $\sim 2$  eV, первый потенциал

ионизации  $\sim 6.2$  eV, средняя молекулярная масса  $\sim 50\,000$  g/mol, средняя линейная длина молекулы  $\sim 150$  nm, дипольный момент бокового фрагмента  $\sim 5.6$  D [6].

Для проведения исследований изготавливались образцы на подложках из полированной нержавеющей стали и полированного кремния методом центрифугирования из растворов полимера в циклогексаноне. Процесс изготовления происходил следующим образом: на предварительно очищенные подложки наносился 0.1–15% раствор полимера в циклогексаноне методом центрифугирования. Затем образцы выдерживались на воздухе при комнатной температуре в течение 45 мин. Окончательная сушка производилась при температуре 150°C в течение 30 мин в сушильном шкафу. При такой методике изготовления удается получить качественные полимерные пленки вплоть до толщин в несколько нанометров.

Для проведения АСМ-исследований был использован сканирующий мультимикроскоп СММ-2000Т с кантилевером CSG01, работавший в контактной моде. Атомно-силовая микроскопия позволяет напрямую получать трехмерное изображение поверхности (скан) в виде функции  $z = f(x, y)$  и рассчитывать все ее статистические характеристики. Для получения численной информации о шероховатости снималась серия сканов с одинаковыми размерами с различных участков поверхности. По каждому скану рассчитывалась среднеквадратичная шероховатость  $R_q$ :

$$R_q = \sqrt{\frac{\sum_{x=1, y=1}^{N, M} (Z_{x,y} - \bar{Z})^2}{(N-1)(M-1)}},$$

где  $Z_{x,y}$  – значение высоты рельефа поверхности с координатами  $(x, y)$ , измеренное с помощью АСМ,  $\bar{Z}$  – средняя высота в кадре,  $N$  и  $M$  – количество точек в строке сканирования количество строк соответственно. Затем вычислялось среднее значение  $R_q$  по нескольким измерениям. По данному параметру оценивалось качество поверхности полученных пленок.

Поляризация полимерных образцов исследовалась методом СМП на сканирующей зондовой нанолaborатории NTEGRA Prima (NT-MDT, Россия). СМП изображения (сигнал MagCos) получали в кон-

тактной моде путем приложения на кантилевер переменного напряжения амплитудой 5 В и частотой 150 kHz. Для СМП измерений использовали проводящие зонды марки NSG10/Pt с радиусом кривизны острия кантилевера ~30 nm. Постоянное напряжение в процессе поляризации прикладывали к зонду, в то время как образец был заземлен.

**Результаты и их обсуждение. Шероховатость поверхности.** Была исследована серия полимерных пленок, изготовленных из растворов различной концентрации в диапазоне концентраций 0.1–10 вес. % на подложках из полированного кремния с шагом по концентрации в 0.1% в диапазоне концентраций 0.1–2%. Предварительное тестирование образцов показало, что поверхности изготовленных образцов однородные, гладкие, с шероховатостью, сравнимой с шероховатостью подложек, на которые они были нанесены. При толщине менее 300 nm полимерная пленка хорошо воспроизводит рельеф поверхности подложки, что говорит об однородности по толщине полученных образцов. Анализ шерохо-

ватости поверхности проводили следующим способом: на АСМ-изображении полимерной пленки выбирали 10 произвольных участков с размерами 1×1 μm, на которых производилось измерение среднеквадратичной шероховатости. Наибольшее

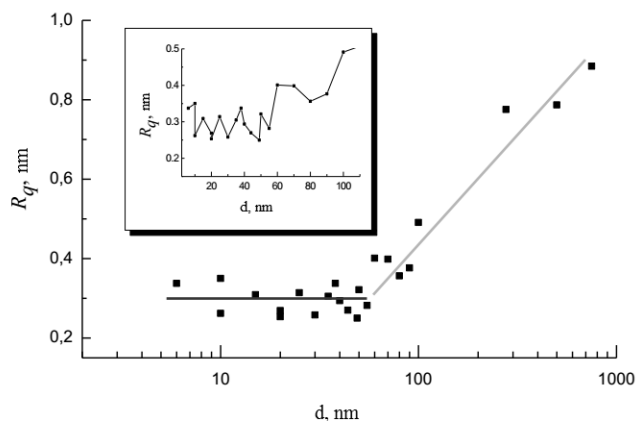


Рис. 1. График зависимости среднеквадратичной шероховатости  $R_q$  субмикронных пленок ПДФ, изготовленных методом центрифугирования на подложке из полированного кремния, от толщины полимерной пленки. На вставке участок зависимости толщин < 100 nm

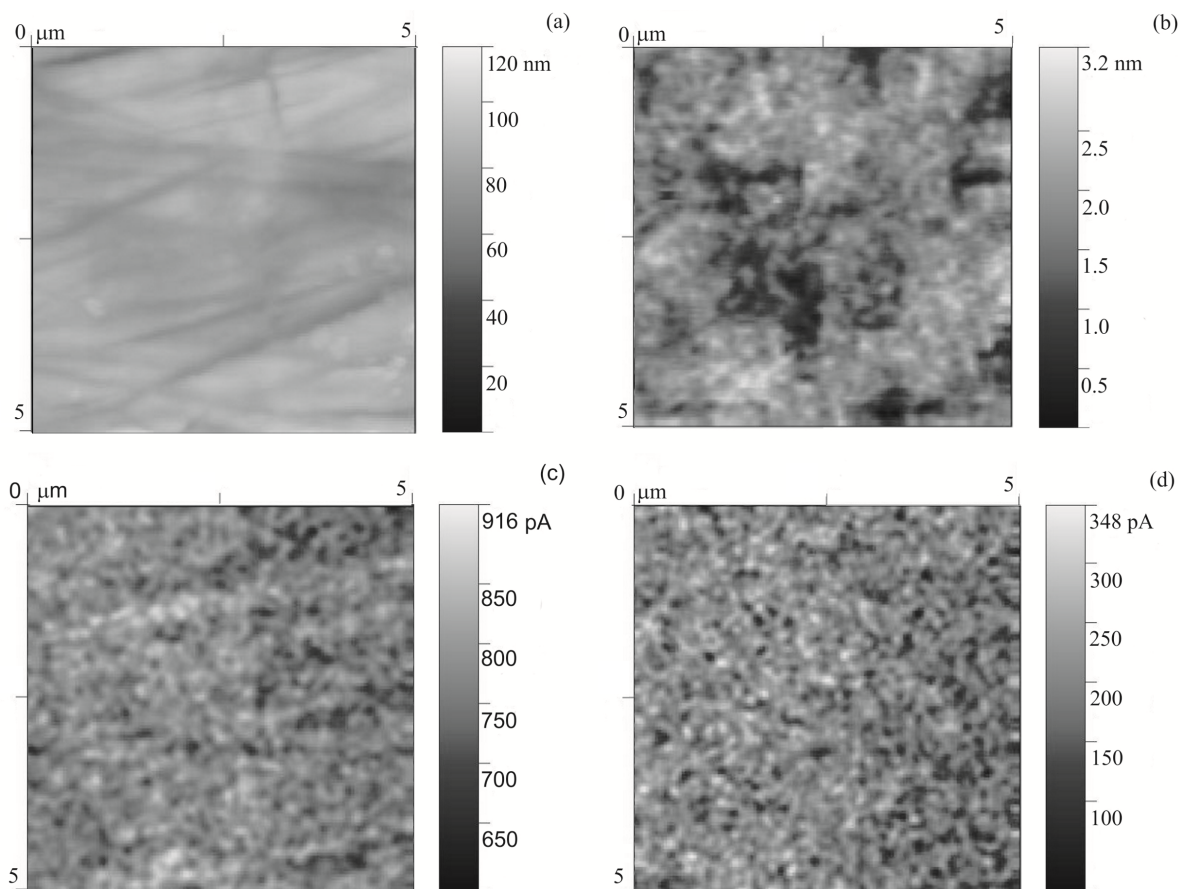


Рис. 2. Топография поверхности полимерной пленки ПДФ (a, b) и сигнал пьезоэлектрического отклика (c, d) для пленок толщиной 50 nm и 900 nm

и наименьшее значения отбрасывались, остальные усреднялись. Далее по полученным усредненным значениям была построена зависимость шероховатости от толщины полимерных пленок (рис. 1).

По полученной зависимости можно сказать, что шероховатость значительно не меняется в диапазоне толщины полимерных пленок от 5 nm до 60 nm и находится в интервале  $3 \pm 0,5 \text{ \AA}$ . При дальнейшем увеличении толщины пленки возрастает и значение шероховатости вплоть до величины 1 nm. Следует отметить, что полученные значения шероховатости по масштабу величины соответствуют размерам отдельных атомов.

**Поляризация поверхности.** При исследовании поляризационных свойств поверхности по условиям эксперимента использовались образцы полимерных пленок, изготовленных на подложках из нержавеющей стали. Методика СМП позволяет одновременно наблюдать морфологию поверхности (геометрический рельеф) и регистрировать сигнал пьезоотклика. На рис. 2, *a, b* представлены изображения участков поверхности, полученные

методом АСМ полимерных пленок толщиной 50 и 900 nm. Соответствующее этим участкам распределение исходного сигнала пьезоэлектрического отклика представлено на рис. 2, *c, d*.

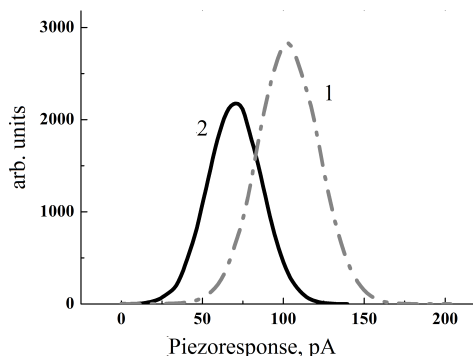


Рис. 3. Гистограммы распределения сигнала пьезоэлектрического отклика для пленок толщиной 50 nm (кривая 1) и 900 nm (кривая 2).

На рис. 3 представлены гистограммы распределения сигнала пьезоотклика для пленки толщиной 50 nm (кривая 1) и для пленки толщиной 900 nm (кривая 2), полученные из СМП изобра-

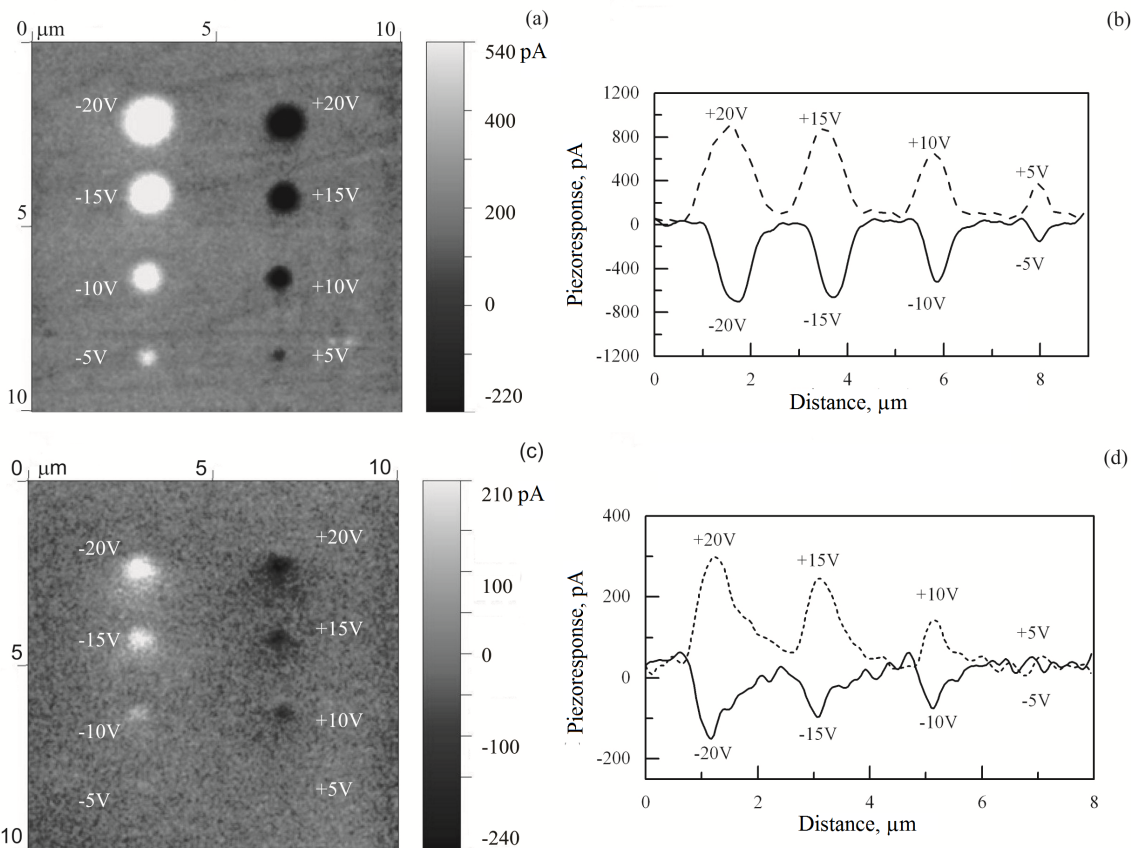


Рис. 4. Сигнал пьезоэлектрического отклика после локальной поляризации поверхности тонких полимерных пленок различной толщины 50 nm (*a*) и 900 nm (*c*) и соответствующие профили (*b, d*) сигнала пьезоотклика, проведенные через поляризованные области

жений, представленных на рис. 2, *c*, *d*. По своей сути данные гистограммы отражают направление спонтанной поляризации в исследуемых материалах [7]. Положительные значения пьезоотклика свидетельствуют о том, что вектор поляризации в пленках направлен к подложке, на которую нанесен полимер. С увеличением толщины полимерной пленки положение максимума распределения сигнала пьезоотклика смещается в левую сторону, что свидетельствует об уменьшении величины спонтанной поляризации. Подобный эффект уменьшения величины самополяризации от толщины наблюдался ранее и в сегнетоэлектрических материалах [8].

Установлено, что величина исходного сигнала пьезоотклика влияет на величину остаточного пьезоотклика. Это подтверждается следующей серией экспериментов. На рис. 4, *a*, *c* представлены СМП изображения после локальной («точной») поляризации полимерных образцов одинаковым по времени приложенным импульсом постоянного напряжения различной амплитуды от  $\pm 5$  до  $\pm 20$  В. Светлые точки отвечают поляризации положительным напряжением, темные – отрицательным. Как видно из СМП изображений (см. рис. 4, *a*, *c*) и сравнения профилей сигнала пьезоотклика (см. рис. 4, *b*, *d*) при поляризации положительными импульсами напряжения, латеральный размер индуцированного домена и его остаточный пьезосигнал больше, чем для создаваемого домена при отрицательном напряжении. Наблюдаемая асимметрия в величине пьезосигнала, по-видимому, связана с наличием внутреннего поля в исследуемых материалах.

**Заключение.** Установлена возможность создания сплошных и однородных по толщине субмикронных пленок ПДФ вплоть до 5 нм, что соответствует 2–3 мономолекулярным слоям. Качество поверхности и внутренняя структура полимерных пленок определяется строением полимерных молекул и их поведением в растворе, наличием макромолекул разной конформации, а также реологическими свойствами раствора в процессе изготовления пленок. В работе [9] представлена зависимость толщины пленок от концентрации раствора полимера и показано, что при концентрациях раствора 1.5–1.6%, происходит изме-

нение внутреннего строения пленок от одной надмолекулярной структуры к другой. Проведенный анализ полученных значений шероховатости позволяет утверждать, что существует корреляция между результатами работы [9] и зависимостью шероховатости от толщины пленок (см. рис. 1). Измеренные значения шероховатости поверхности значительно не меняются в диапазоне толщин полимерных пленок от 5 до 60 нм, и находятся в интервале  $3 \pm 0.5$  и определяются качеством поверхности подложки. Значения являются типичными для полированного кремния и свидетельствуют об атомарной гладкости исследуемых поверхностей. С увеличением толщины наблюдается рост среднеквадратичной шероховатости поверхности, обусловленный формированием в таких пленках надмолекулярной структуры. В случае формирования интерфейса полимер-полимер атомарная гладкость должна уменьшать диффузное рассеяние носителей заряда на неровностях границ раздела. Об этом свидетельствуют результаты работы [4], в которой показано, что подвижность носителей заряда на границе раздела полимерных слоев резко уменьшается на 5 порядков при увеличении толщины верхнего полимерного слоя с 90 до 570 нм.

Методом силовой микроскопии пьезоотклика обнаружено, что субмикронные пленки ПДФ спонтанно поляризованы. При этом сигнал пьезоотклика существенно возрастает при уменьшении толщины пленки в исследованном интервале толщин. Это означает, что основной вклад в суммарную величину пьезоотклика вносит именно поляризация поверхностного слоя и подтверждает справедливость предположения о дипольном упорядочении поверхности, высказанном в работе [4].

В пленках ПДФ регистрируется спонтанная поверхностная поляризация и переключение поляризации. Обнаружено, что эффекты поверхностной поляризации наиболее отчетливо проявляются в пленках толщиной менее 100 нм. Это еще один фактор, приводящий к возникновению повышенной электропроводности в области интерфейса полимер–полимер. Очевидно, что условия локализации двумерного электронного газа вдоль границы раздела сильно зависят от поляризации образующих границу поверхностей.

Литература

References

1. Alves H., Molinari A.S., Xie H., Morpurgo A.F. Metallic conduction at organic charge-transfer interfaces // *Nature Mat.* 2008. Vol. 7. № 7. P. 574–580.
2. Gadiev R.M., Lachinov A.N., Salikhov R.B., Rakhmiev R.G., Kornilov V.M. The conducting polymer/polymer interface // *Appl. Phys. Lett.* 2011. Vol. 98. Issue 17. P. 173305.
3. Гадиев Р.М., Лачинов А.Н., Галиев А.Ф., Калимуллина Л.Р., Набиуллин И.Р. Влияние дипольного упорядочения на электрофизические свойства границы раздела двух органических диэлектриков // *Письма в ЖЭТФ.* 2014. Т. 100, № 4. С. 276–280.
4. Гадиев Р.М., Лачинов А.Н., Карамов Д.Д., Киселев Д.А., Корнилов В.М. Влияние толщины нанометровой пленки на свойства двумерного электронного газа границы двух диэлектриков // *ЖЭТФ.* 2016. Т. 150, вып. 1. С. 168.
5. Vasudevan R.K., Balke N., Maksymovych P., Jesse S., Kalinin S.V. Ferroelectric or non-ferroelectric: Why so many materials exhibit “ferroelectricity” on the nanoscale // *Applied Physics Reviews.* 2017. Vol. 4, № 2. P. 021302.
6. Wu C.R., Johansson N., Lachinov A.N., Salaneck W.R. Some chemical and electronic structures of the non-conjugated polymer poly (3, 32-phthalidylidene-4, 42-biphenylene) // *Synth. Metals.* 1994. Vol. 67. P. 125.
7. Kiselev D.A., Zhukov R.N., Ksenich S.V., Kozlova A.P., Bykov A.S., Malinkovich M.D., Parkhomenko Yu.N. Investigation of the ferroelectric properties and dynamics of nanodomains in LiNbO<sub>3</sub> thin films grown on Si (100) substrate by scanning probe microscopy techniques // *Thin Solid Films.* 2014. Vol. 556. P. 142.
8. Kholkin A.L., Brooks K.G., Taylor D.V., Hiboux S., Setter N. Self-polarization effect in Pb (Zr, Ti) O<sub>3</sub> thin films // *Integrated Ferroelectrics.* 1998. Vol. 22. P. 525.
9. Карамов Д.Д., Корнилов В.М., Лачинов А.Н., Крайкин В.А., Ионова И.А. Атомно-силовая микроскопия субмикронных пленок электроактивного полимера // *ЖТФ.* 2016. № 86. С. 124.

1. Alves H., Molinari A.S., Xie H., Morpurgo A.F. Metallic conduction at organic charge-transfer interfaces. *Nature Materials*, 2008, vol. 7, no. 7, pp. 574–580.
2. Gadiev R.M., Lachinov A.N., Salikhov R.B., Rakhmiev R.G., Kornilov V.M. The conducting polymer/polymer interface. *Appl. Phys. Lett.*, 2011, vol. 98, no. 17, p. 173305.
3. Gadiev R.M., Lachinov A.N., Galiev A.F., Kalimullina L.R., Nabiullin I.R. Effect of dipole ordering on the electrical properties of the interface between two organic insulators. *Pisma v Zhurnal teoreticheskoy i eksperimentalnoy fiziki*, vol. 100, no. 4, pp. 276–280.
4. Gadiev R.M., Lachinov A.N., Karamov D.D., Kiselev D.A., Kornilov V.M.. Effect of the nanofilm thickness on the properties of the two-dimensional electron gas at the interface between two dielectrics. *Pisma v Zhurnal teoreticheskoy i eksperimentalnoy fiziki*, 2016, vol. 150, no. 1, pp. 168.
5. Vasudevan R.K., Balke N., Maksymovych P., Jesse S., Kalinin S.V. Ferroelectric or non-ferroelectric: Why so many materials exhibit “ferroelectricity” on the nanoscale. *Applied Physics Reviews*, 2017, vol. 4, no. 2, p. 021302.
6. Wu C.R., Johansson N., Lachinov A.N., Salaneck W.R. Some chemical and electronic structures of the non-conjugated polymer poly (3, 32-phthalidylidene-4, 42-biphenylene). *Synth. Metals*, 1994, vol. 67, p. 125.
7. Kiselev D.A., Zhukov R.N., Ksenich S.V., Kozlova A.P., Bykov A.S., Malinkovich M.D., Parkhomenko Yu.N. Investigation of the ferroelectric properties and dynamics of nanodomains in LiNbO<sub>3</sub> thin films grown on Si (100) substrate by scanning probe microscopy techniques. *Thin Solid Films*, 2014, vol. 556, p. 142.
8. Kholkin A.L., Brooks K.G., Taylor D.V., Hiboux S., Setter N. Self-polarization effect in Pb (Zr, Ti) O<sub>3</sub> thin films. *Integrated Ferroelectrics*, 1998, vol. 22, p. 525.
9. Karamov D.D., Kornilov V.M., Lachinov A.N., Kraykin V.A., Ionova I.A. Atomic force microscopy of submicron films of electroactive polymer. *Zhurnal teoreticheskoy fiziki*, 2016, no. 86, p. 124.



**ATOMORALLY SMOOTH SURFACE AND SURFACE POLARIZATION  
OF SUBMICRONIC POLYDIFENYLENHTHALIDE FILMS**

© **D.D. Karamov<sup>1,4</sup>, D.A. Kiselev<sup>2</sup>, M.D. Malinkovich<sup>2</sup>,  
V.M. Kornilov<sup>3</sup>, A.N. Lachinov<sup>1</sup>, R.M. Gadiev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

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

<sup>3</sup>National University of Science and Technology MISiS,  
4, Leninsky prospekt, 119049, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup>Eastern Economics and Law Humanities Academy,  
215/4, ulitsa Mendeleeva, 450071, Ufa, Russian Federation

The paper deals with the problem of surface dipole ordering of ultrathin polymer layers. Polydiphenylene phthalide films whose molecules include a side group with a relatively large dipole moment are studied experimentally. The metric parameters of the surface are studied using the AFM method depending on the thickness of the polymer film. It is found that the roughness value corresponds to an atomically smooth surface. The processes of polarization and relaxation in polymer films of different thicknesses are studied using the PFM method. The manifestation of spontaneous polarization is revealed. Polarization switching is observed that manifests itself in a change in the contrast of the piezoresponse under the applied field of different polarity. These phenomena are used to explain the unique electronic properties of polymer dielectric interfaces.

Key words: thin films, polymers, atomic force microscopy, surface polarization.



УДК 543.552.054.1

**РАСПОЗНАВАНИЕ ПРОПРАНОЛОЛА ПО ПРОИЗВОДИТЕЛЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКЛОУГЛЕРОДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАРИЛЕНФТАЛИДНОЙ ПЛЕНКИ, МЕЛАМИНА И ЦИАНУРОВОЙ КИСЛОТЫ****© Р.А. Зильберг, Л.Р. Кабирова, Ю.А. Яркаяева,  
А.В. Сидельников, В.Н. Майстренко, В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов**

Посвящена вольтамперометрическому распознаванию антиаритмических препаратов различных производителей, содержащих пропранолол, с использованием стеклоуглеродных электродов модифицированных композитами на основе полиарилефталидной пленки, меламина и циануровой кислоты. Методами вольтамперометрии и атомно-силовой микроскопии установлены условия модифицирования поверхности стеклоуглеродных электродов композитами полиарилефталидов и регистрации вольтамперограмм пропранолола, дискриминации аналитических сигналов. Для определения оптимальных условий эксперимента изучалось влияние pH анализируемого раствора, скорости развертки потенциала, времени выдерживания электрода в анализируемом растворе, концентрации пропранолола на значения тока и формы вольтамперограмм. Максимальные значения токов наблюдаются в кислой среде при  $\text{pH} < 1$ , поэтому в качестве фонового электролита используется 0.1 М раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Вольтамперограммы регистрировались в диапазоне потенциалов 0.0–1.8 В со скоростью развертки потенциала 0.1 В/с, после того, как индикаторный электрод выдерживался в растворе аналита в течение 30 с при постоянном перемешивании при  $E = 0$ . Линейный диапазон обнаруживаемых концентраций пропранолола составляет  $10^{-5}$ – $10^{-3}$  М, с пределом обнаружения  $1 \times 10^{-7}$  М. Для препаратов всех производителей наблюдаются фарадеевские токи окисления основного компонента при потенциале 1–1.7 В.

Рассмотрены возможности предложенных композитных электродов для экспрессного распознавания анаприлина (лекарственного средства на основе пропранолола) различных производителей: «Татхимфарм-препараты», «Обновление ПФК», «Фармстандарт – Лексредства». С использованием хемометрической обработки вольтамперометрических данных – метода главных компонент (МГК) и метода проекции на латентные структуры с дискриминантным анализом (ПЛС-ДА) показана возможность надежного распознавания рассматриваемых антиаритмических препаратов без выделения действующих веществ из лекарственных форм. При этом все исследуемые образцы препаратов пропранолола правильно распознаны без ошибок первого и второго рода. Детально описана методика хемометрической обработки вольтамперометрических данных.

Таким образом, предложен способ вольтамперометрического распознавания лекарственных средств на основе пропранолола, отличающийся экспрессностью, простотой пробоподготовки и аналитического обобщения, позволяющий устанавливать подлинность лекарственных средств различных производителей.

Ключевые слова: вольтамперометрия, композитные электроды, хемометрика, МГК, ПЛС-ДА, пропранолол.

ЗИЛЬБЕРГ Руфина Алексеевна – к.х.н., Башкирский государственный университет,  
e-mail: zilbergra@yandex.ru

КАБИРОВА Лиана Рустамовна – Башкирский государственный университет,  
e-mail: Kabirova.lian@ya.ru

ЯРКАЕВА Юлия Анатольевна – Башкирский государственный университет,  
e-mail: julijajarkaeva05@gmail.com

СИДЕЛЬНИКОВ Артем Викторович – д.х.н., Башкирский государственный университет,  
e-mail: Artsid2000@gmail.com

МАЙСТРЕНКО Валерий Николаевич – д.х.н., Башкирский государственный университет,  
e-mail: V\_maystrenko@mail.ru

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

ЛАЧИНОВ Алексей Николаевич – д.ф.-м.н., Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, e-mail: rector@bsunet.ru

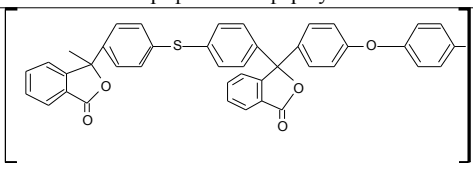
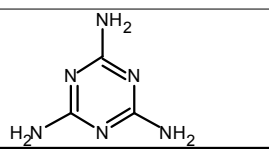
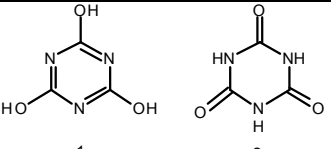
**Введение.** Пропранолол является неселективным блокирующим агентом  $\beta$ -адренорецепторов. Этот  $\beta$ -адреноблокатор наиболее часто назначают для лечения различных сердечно-сосудистых заболеваний, таких как гипертония, стенокардия, аритмия сердца и инфаркт миокарда. Таким образом, терапевтическое и фармакологическое значение пропранолола оправдывает интерес к разработке точных аналитических методов контроля качества фармацевтических препаратов на его основе. В последнее время электрохимические методы, в частности вольтамперометрию, широко используют для распознавания и определения антиаритмических препаратов, в том числе пропранолола [1–4]. Преимуществами вольтамперометрии являются высокая чувствительность, экспрессность, простота в эксплуатации, экономичность. Селективность данного метода может быть значительно улучшена за счет химического модифицирования поверхности рабочего электрода [5] и применения хемометрической

обработки полученных вольтамперограмм [6, 7]. Для решения задач идентификации и распознавания лекарственных средств, выпущенных различными производителями, применили стеклоуглеродные электроды (СУЭ), модифицированные композитами на основе полиариленфталидной пленки (ПАФ), меламина (МА) и циануровой кислоты (ЦК) (табл. 1). Данные электроды имеют близкие аналитические характеристики, отличающиеся величиной сигнала-отклика по отношению к пропранололу, что обеспечивает перекрестную чувствительность.

В качестве анализируемых лекарственных препаратов выбрали антиаритмический препарат, входящий в группу  $\beta$ -адреноблокаторов, разных производителей: анаприлин- «Татхимфармпрепараты» (Т); «Обновление ПФК» (В); «Фармстандарт-Лексредства» (F) (табл. 2). Действующее вещество в них одинаковое – пропранолол. Но эти препараты отличаются составом вспомогательных веществ (см. табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Химический состав модификаторов

Обозначение	Графическая формула
ПАФ	
Меламин (МА)	
Циануровая кислота (ЦК)	

Т а б л и ц а 2

Исследуемые антиаритмические препараты

Препарат	Производитель	Обозначение	Состав вспомогательных веществ
Анаприлин	ОАО «Фармстандарт – Лексредства» г. Курск	F	сахар (сахароза), кальция стеарат, крахмал картофельный, тальк
	ЗАО «Обновление ПФК», г. Новосибирск	B	сахар (сахароза), кальция стеарат, крахмал картофельный, тальк
	ОАО «Татхимфармпрепараты», г. Казань	T	лактоза (сахар молочный), кальция стеарат, крахмал картофельный, тальк, повидон
Пропранолол ( $\pm$ )	Astra Zeneca, Великобритания	–	–

### Методика проведения эксперимента.

Вольтамперограммы регистрировали в трехэлектродной ячейке на потенциостат-гальваностате «Р-8 Nano» с программным обеспечением ООО «Элинс», г. Черноголовка. Использовали СУЭ, модифицированные композитами на основе ПАФ, МА и ЦК в качестве рабочих электродов. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный электрод, вспомогательным – платиновый электрод. В качестве фонового электролита применяли 0.1 М раствор  $H_2SO_4$ . Проводили регистрацию дифференциальных вольтамперограмм при интенсивном перемешивании раствора в течение 30 с на фоне 0.1 М  $H_2SO_4$  при скорости развертки потенциала 0.1 В/с. Рабочий диапазон потенциалов составляет 0.0÷1.8 В.

В качестве модификаторов стеклоуглеродных электродов (СУЭ) использовали композиты на основе ПАФ, МА и ЦК (табл. 1). Раствор для модифицирования готовили смешиванием растворов полимера и модификатора в соотношении 1:1. Навеску модификатора (9.4 мг) и полимера (9.4 мг) растворяли в 10 мл  $N,N$ -диметилформамида (ДМФА). Полученный раствор объемом 3 мкл наносили на зачищенную поверхность СУЭ и высушивали потоком горячего воздуха ( $60^\circ C$ ). После каждого измерения поверхность электрода регенерировали путем удаления пленки ДМФА, полировали пастой ГОИ, промывали раствором комплексона-III, высушивали и наносили новую пленку композита.

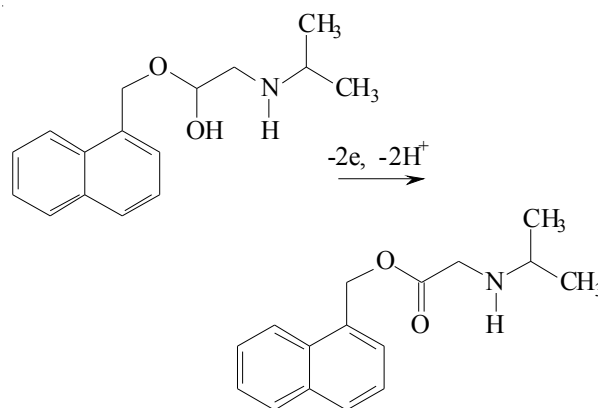
Стандартные растворы, содержащие 40 мг пропранолола ( $\pm$ ), готовили растворением точной навески препарата в 25 мл 0.1 М  $H_2SO_4$ . Растворы лекарственных препаратов готовили из точных навесок (масса навески отбиралась таким образом, чтобы масса действующего вещества составляла 40 мг), количественно переносили их в мерную колбу и доводили до метки 0.1 М раствором фонового электролита ( $H_2SO_4$ ), затем фильтровали. Для получения растворов с меньшими концентрациями последовательно разбавляли исходные стандартные растворы.

Для установления схожести и различия в вольтамперометрическом поведении анаприлина различных производителей (на электродах, модифицированных композитами МА/ПАФ и ЦК/ПАФ) использовали методы хемометрики: метод глав-

ных компонент (МГК), метод проекции на латентные структуры с дискриминантным анализом (ПЛС-ДА) [6, 7].

Исследования методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) проводились на сканирующем мультимикроскопе СММ-2000Т (ООО «Завод ПРО-ТОН-МИЭТ», Москва, Зеленоград), в контактной моде. Использовался кантилевер марки CSG01, сила воздействия на образец составляла 10 nN.

**Результаты и их обсуждение.** Входящий в состав исследуемых лекарственных средств пропранолол – 1-изопропиламино-3-(1-нафтокси)-2-пропанола гидрохлорид – необратимо окисляется в диапазоне потенциалов от 1 до 1.7 В с переносом двух электронов [1]:



Для выбора оптимальных условий эксперимента изучено влияние рН фонового электролита, скорости развертки потенциала, времени выдерживания электродов в растворе пропранолола ( $\pm$ ), концентрации электроактивных веществ на величины токов и форму вольтамперограмм. Максимальные значения токов пиков наблюдаются при  $pH < 1$  (рис. 1, а), поэтому в качестве фонового электролита использовали 0.1 М  $H_2SO_4$ .

На рис. 1, б приведена зависимость максимального тока пика окисления пропранолола ( $\pm$ ) (3 мМ) от времени накопления для электрода с композитным модификатором МА/ПАФ. Видно, что при выдерживании электрода в анализируемом растворе более 30 с процесс диффузии электроактивного вещества к поверхности модифицированного электрода становится равновесным и величина максимального тока пика окисления пропранолола практически не изменяется. Для композитного модификатора ЦК/ПАФ указанные зависимости имеют аналогичный характер.

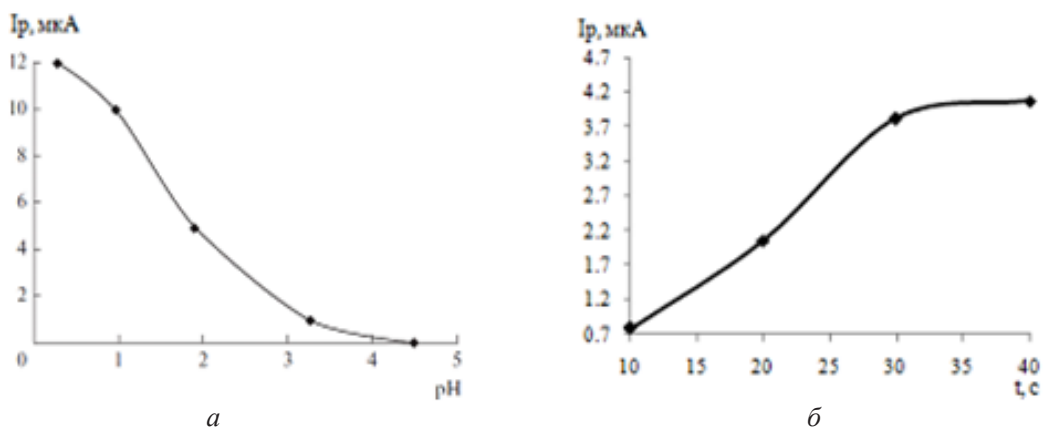


Рис. 1. Зависимость максимального тока пика окисления 3 мМ водного раствора пропранолола ( $\pm$ ) для электрода с композитным модификатором МА/ПАФ от рН фонового электролита (а) ( $t_{\text{н}} = 30$  с, 0.1 В/с) и от времени накопления (б) (0.1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0.1 В/с)

Зависимости высоты пиков ( $i_p$ ) от скорости развертки потенциала ( $\nu$ ) свидетельствуют о том, что с увеличением  $\nu$  максимальные токи пиков возрастают ( $\Delta \lg i_p / \Delta \lg \nu = 0.52 \pm 0.57$ ,  $R^2 = 0.98 \pm 0.99$ ). Для электродных процессов, контролируемых только диффузией, значения  $\Delta \lg i_p / \Delta \lg \nu$  не превышают 0.5 [8]. Из полученных зависимостей следует, что лимитирующей стадией электродного процесса на модифицированных композитах на основе МА/ПАФ и ЦК/ПАФ СУЭ является скорость диффузии пропранолола ( $\pm$ ) к электроду, хотя некоторое влияние оказывает адсорбция электроактивного вещества на электродной поверхности, причем вклад адсорбционной составляющей для электрода, модифицированного композитом МА/ПАФ, выше.

На рис. 2 представлены вольтамперограммы растворов с различным содержанием пропранолола ( $\pm$ ) на модифицированном композитах на основе МА/ПАФ и ЦК/ПАФ СУЭ при скорости развертки потенциала 0.1 В/с. Видно, что с увеличением концентрации пропранолола ( $\pm$ ) мгновенные токи на вольтамперограммах возрастают, наблюдается линейная зависимость в диапазоне определяемых концентраций  $10^{-5}$ – $10^{-3}$  с пределом обнаружения  $1 \cdot 10^{-7}$  М.

Было исследовано вольтамперометрическое поведение анаприлина различных производителей, отличающегося составом вспомогательных веществ и содержанием микропримесей (табл. 2) на немодифицированном, модифицированном композитами на основе ПАФ, меламина и циануровой кислоты СУЭ. При добавлении к раствору

ПАФ в ДМФА меламина или циануровой кислоты на поверхности СУЭ осаждаются ПАФ-композиты, представляющие собой кристаллиты на гладкой подложке. О чем свидетельствуют АСМ-изображения поверхности СУЭ (рис. 3). Линейные размеры кристаллитов в случае МА/ПАФ составляют 1–5 мкм, высота кристаллитов порядка 1 мкм, а для ЦК/ПАФ составляют 3–5 мкм, высота кристаллитов порядка 100 нм. В отсутствие меламина и циануровой кислоты электродная поверхность гладкая, с редкими включениями и углублениями в пленке полимера (рис. 3).

Вольтамперограммы пропранолола различных производителей на композитных электродах различаются между собой (рис. 4). Для

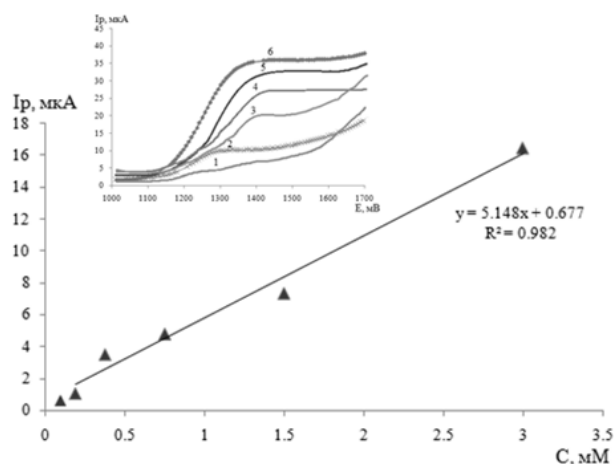


Рис. 2. Зависимость максимального тока пика окисления пропранолола ( $\pm$ ) на СУЭ, модифицированном композитом на основе ЦК/ПАФ ( $t_{\text{н}} = 30$  с, 0.1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0.1 В/с): 1 –  $9 \cdot 10^{-5}$ ; 2 –  $1.9 \cdot 10^{-4}$ ; 3 –  $3.7 \cdot 10^{-4}$ ; 4 –  $7.5 \cdot 10^{-3}$ ; 5 –  $1.5 \cdot 10^{-3}$ ; 6 –  $3.0 \cdot 10^{-3}$  М

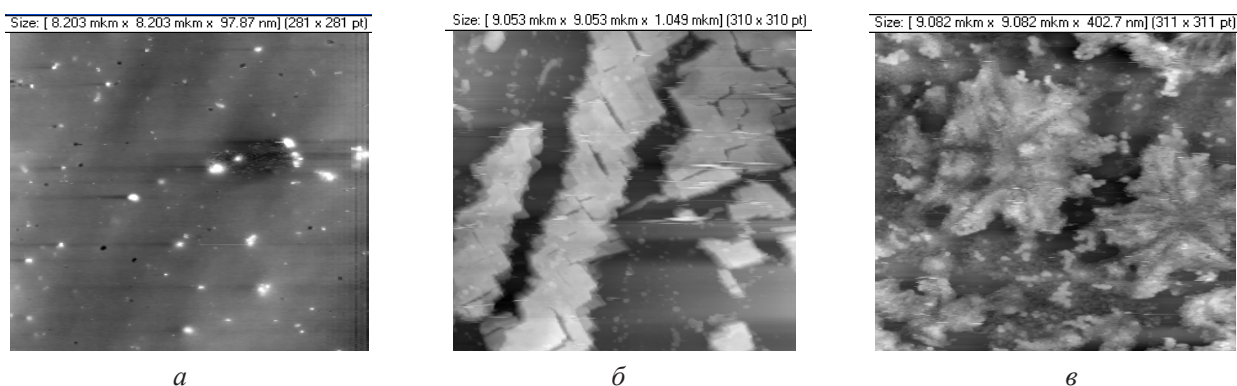


Рис. 3. АСМ изображения поверхности СУЭ, модифицированного ПАФ (а), ПАФ композитами меламина (б) и циануровой кислоты (в)

электрода с композитным модификатором ЦК/ПАФ значение токов в пиках несколько выше во всей области потенциалов, чем для электрода с композитным модификатором МА/ПАФ. Для препаратов всех производителей наблюдаются фарадеевские токи окисления основного компонента при 1–1.7 В и емкостные токи, обусловленные составом матрицы исследуемых препаратов, однако формы вольтамперограмм, высота токов в пике и емкостное составляющее отличаются для разных производителей. Также на модифицированных композитами электродах видно более сильное различие в формах вольтамперограмм препаратов различных производителей по сравнению с немодифицированными СУЭ.

Для сравнения полученных вольтамперограмм был применен метод главных компонент, который позволяет перенести массивы экспери-

ментальных данных в новую систему координат  $X, Y, Z$ , где координатные оси – векторы главных компонент (ГК), и представить вольтамперограммы точками, группирующимися в пространстве в виде эллипсоидов [6, 7]. Массив данных для каждого образца формировали из 5 параллельных измерений с регистрацией 5 вольтамперограмм, каждая из которых включала 230 значений мгновенных токов при различных потенциалах. Из графиков счетов МГК-моделирования (рис. 5) видно, что препараты пропранолола в зависимости от производителей делятся на отдельные кластеры на плоскости главных компонент.

Суммарная объясненная дисперсия по двум первым главным компонентам составляет 97% для раствора пропранолола различных производителей на СУЭ, модифицированных ЦК/ПАФ, и 99% для СУЭ, модифицированных МА/ПАФ, что свидетельствует о хорошей специфичности сен-

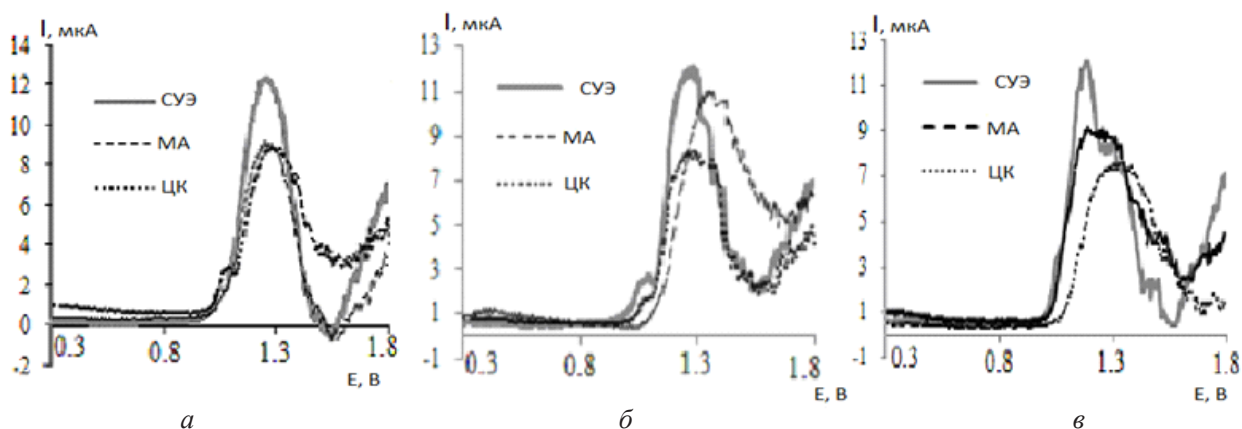


Рис. 4. Дифференциальные вольтамперограммы водных растворов лекарственных средств различных производителей, содержащих 3 мМ пропранолола: анаприлина F, T, B (а, б, в соответственно) на немодифицированном (СУЭ), модифицированном композитами ЦК/ПАФ (ЦК) и МА/ПАФ (МА) СУЭ ( $t_{\text{н}} = 30$  с, 0.1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0.1 В/с)

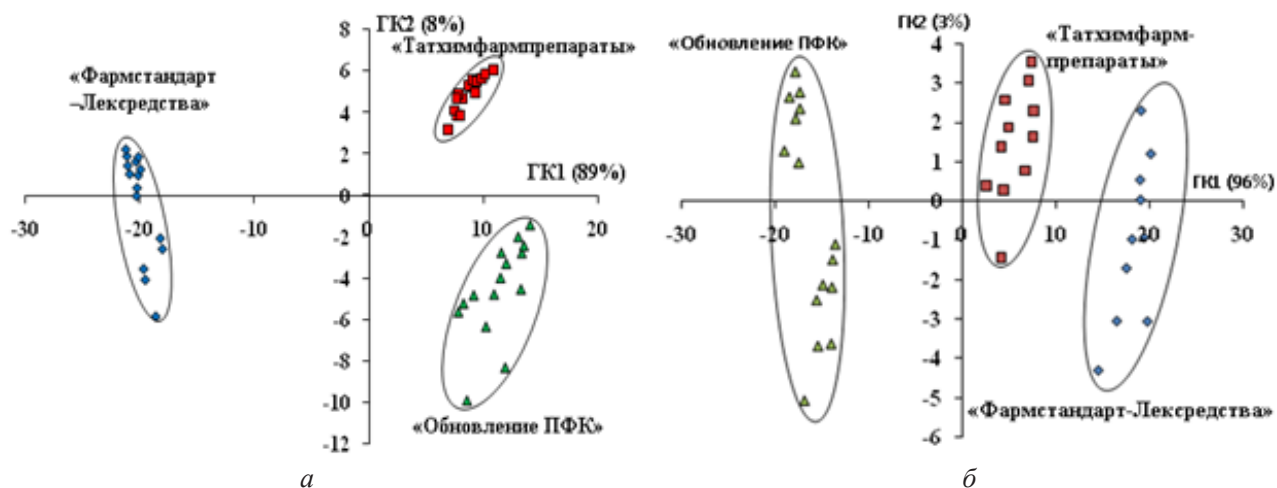


Рис. 5. Графики счетов МГК-моделирования вольтамперограмм 3 мМ водных растворов пропранолола различных производителей на СУЭ модифицированных ЦК/ПАФ (а) МА/ПАФ (б) ( $t_n = 30$  с, 0.1 М  $H_2SO_4$ , 0.1 В/с)

соров при распознавании пропранолола по производителю. Кроме этого, из рисунков видно, что модификаторы различным образом влияют на вольтамперометрическое поведение пропранолола. Кластеры расположены как вдоль первой компоненты, так и вдоль второй.

Распознавание пропранолола по производителю различных серий выпуска методом ПЛС-ДА представляет собой многомерный вариант регрессионного анализа. При создании обычной ПЛС-регрессии классовая принадлежность образца кодируется нулем либо единицей, и эта переменная-код используется в качестве зависимой, затем рассчитывают значения дискриминантных откликов, чем ближе эти значения к единице, тем с большей вероятностью они принадлежат к тем или иным производителям [7].

Из табл. 3 видно, что каждый препарат соответствующего производителя правильно отнесен к тестовому образцу той же природы (значения дискриминантных откликов близки к единице), таким образом, результат распознавания можно считать положительным. При этом правильное соотнесение образцов к своему классу – отсутствие ошибки первого рода, а неправильное отнесение образца к другому классу – ошибки второго рода. Образцы препаратов тестовой партии, для которых значение регрессионного отклика соответствующего класса более 0.5, считают принадлежащим к этому классу. С учетом этого критерия из данных табл. 3 следует, что все тестовые образцы правильно распознаны без ошибок первого и второго рода.

Т а б л и ц а 3

Результаты ПЛС-ДА классификации тестового набора лекарственных средств различных производителей для электродов с композитными модификаторами МА/ПАФ и ЦК/ПАФ

ТО** \ ОС*	В	Ф	Т
<b>МА/ПАФ</b>			
В	0.99	0.00	0.02
Ф	0.00	0.99	0.02
Т	0.02	0.02	0.96
<b>ЦК/ПАФ</b>			
В	0.98	0.00	0.02
Ф	0.00	0.99	0.01
Т	0.02	0.01	0.97

Примечания: \* – образец сравнения, \*\* – тестовый образец.

Таким образом, применение вольтамперометрических систем на основе стеклоглеродных электродов с композитными модификаторами МА/ПАФ и ЦК/ПАФ в сочетании с хемометрической обработкой данных оказывается чувствительным к составу таблетированных лекарственных форм и позволяет безошибочно распознавать пропранолол по производителю.

*Авторы выражают благодарность В.А. Крайкину за предоставленные для исследований образцы полимера ПАФ.*

*Работа выполнена при поддержке РФФИ: грант № 15-03-01388-а.*

### Литература

1. Nigovic B., Marušić M., Juric S. A highly sensitive method for determination of  $\beta$ -blocker drugs using a Nafion-coated glassy carbon electrode // J. Electroanal. Chem. 2011. № 2. P. 72–78.

2. Сидельников А.В., Майстренко В.Н., Зильберг Р.А., Яркаева Ю.А., Хамитов Э.М. Энантиоселективный вольтамперометрический сенсор для распознавания стереоизомеров пропранолола // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72, № 5. С. 1–7.

3. Яркаева Ю.А., Зильберг Р.А., Хаблетдинова А.И., Сидельников А.В., Майстренко В.Н. Вольтамперометрическая идентификация лекарственных средств на основе бисопролола с использованием проекции на латентные структуры // Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21, № 3. С. 635–641.

4. Sidel'nikov A.V., Zil'berg R.A., Yarkaeva Yu.A., Maistrenko V.N., Kraikin V.A. Voltammetric identification of antiarrhythmic medicines using principal component analysis // J. of Analytical Chemistry. 2015. № 10. P. 1261–1266.

5. Будников Г.К., Евтюгин Г.А., Майстренко В.Н. Модифицированные электроды для вольтамперометрии в химии, биологии и медицине. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 416 с.

6. Власов Ю.Г., Легин А.В., Рудницкая А.М. Электронный язык – системы химических сенсоров

для анализа водных сред // Рос. Хим. Журн. 2008. Т. 52, № 2. С. 101–112.

7. Pomerantsev A.L. Chemometrics in Excel. New York: Wiley, 2014. 336 p.

8. Будников Г.К., Майстренко В.Н., Вяселев М.Р. Основы современного электрохимического анализа. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 446 с.

### References

1. Nigovic B., Marušić M., Juric S. A highly sensitive method for determination of  $\beta$ -blocker drugs using a Nafion-coated glassy carbon electrode. J. Electroanal. Chem, 2011, no. 2, pp. 72–78.

2. Sidelnikov A.V., Maistrenko V.N., Zilberg R.A., Yarkaeva Yu.A., Khamitov E.M. An *enantioselective* voltammetric sensor for the *recognition* of propranolol stereoisomers. Journal of Analytical Chemistry, 2017, vol. 72, no. 5, pp. 1–7.

3. Yarkaeva Yu.A., Zilberg R.A., Khabletdinova A.I., Sidelnikov A.V., Maistrenko V.N. Voltammetric identification of pharmaceutical preparations based on bisoprilol using projections to latent structures. Vestnik Bashkirskogo universiteta, 2016, vol. 21, no. 3, pp. 635–641.

4. Sidelnikov A.V., Zilberg R.A., Yarkaeva Yu.A., Maistrenko V.N., Kraikin V.A. Voltammetric identification of antiarrhythmic medicines using principal component analysis. Journal of Analytical Chemistry, 2015, no. 10, pp. 1261–1266.

5. Budnikov G.K., Evtyugin G.A., Maistrenko V.N. Modified electrodes for voltammetry in chemistry, biology and medicine. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy, 2010. 416 p.

6. Vlasov Yu.G., Legin A.V., Rudnitskaya A.M. Electronic tongue: Chemical sensor systems for analysis of aquatic media. Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal, 2008, vol. 52, no. 2, pp. 101–112.

7. Pomerantsev A.L. Chemometrics in Excel. New York: Wiley, 2014. 336 p.

8. Budnikov G.K., Maistrenko V.N., Vyaselev M.R. Fundamentals of modern electrochemical analysis. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy, 2003. 446 p.

---



**RECOGNITION OF PROPRANOLOL ACCORDING TO THEIR MANUFACTURERS USING GLASSY CARBON ELECTRODES MODIFIED BY COMPOSITES BASED ON POLYARYLENHTHALIDE FILM, MELAMINE AND CYANURIC ACID**

© R.A. Zilberg<sup>1</sup>, L.R. Kabirova<sup>1</sup>, Yu.A. Yarkaeva<sup>1</sup>, A.V. Sidelnikov<sup>1</sup>,  
V.N. Maistrenko<sup>1</sup>, V.M. Kornilov<sup>2</sup>, A.N. Lachinov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bashkir State University  
32, ulitsa Zaki Validi, 450076, Ufa, Russian Federation

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

The work is devoted to voltammetric recognition of antiarrhythmic drugs of various manufacturers containing propranolol, using glassy carbon electrodes modified with composites based on polyarylenephthalide film, melamine and cyanuric acid. Methods of voltammetry and atomic force microscopy established the conditions for modifying the surface of glassy carbon electrodes by polyarylenephthalide composites and recording voltamperograms of propranolol and discrimination of analytic signals. To determine the optimum experimental conditions, the effect of the pH of the analysed solution, the potential sweep rate, the electrode holding time in the analysed solution, the concentration of propranolol on the current values and the shape of the voltammograms were studied. The maximum values of the currents are observed in an acid medium at  $\text{pH} < 1$ , so a 0.1 M solution of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  was used as the supporting electrolyte. Voltammograms were registered in the potential range of 0.0–1.8 V with a potential sweep rate of 0.1 V / s, after the indicator electrode was held in the analyte solution for 30 s with vigorous mixing and  $E=0$ . The linear range of detectable concentrations is  $10^{-5}$ – $10^{-3}$  M with the limit detection of  $1 \times 10^{-7}$  M. The Faraday component of current for medicines of all producers was observed in the potential range 1–1.7 V.

The possibilities of the proposed composite electrodes for express recognition of anaprilin (a drug based on propranolol) from various manufacturers are considered: “Tatkhimpharmpreparaty”, “Update of PFC”, “Pharmstandard – Leksredstva”. With the use of chemometric processing of voltammetric data – principal component analysis (PCA) and projection to latent structures with discriminant analysis (PLS-DA), the possibility of reliable recognition of the antiarrhythmic drugs under consideration without isolation of the active substances from the dosage forms is shown. In this case, all investigated samples of propranolol preparations are correctly recognized without errors of the first and second kind. The technique of chemometric processing of voltammetric data is described in detail.

Thus, the method of voltammetric recognition of drugs based on propranolol is distinguished by the expressiveness, simplicity of sample preparation and analytical equipment, which makes it possible to establish the authenticity of medicines of various manufacturers.

Key words: voltammetry, composite electrodes, chemometrics, PCA, PLS-DA, propranolol.



УДК 574.4

**ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ СТУДЕНТОВ  
В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ**

© Г.В. Рыбакова

Рассматриваются вопросы формирования экологической культуры студентов технического вуза в процессе изучения курса химии. Уделяется внимание проблеме полного проявления взаимозависимости и взаимопроникновения живого и неживого. Рассматривается экологическая функция и вытекающая из нее задача экологического образования и воспитания в учебном процессе и внеаудиторной работе. Предлагается усиление работы по борьбе с загрязнением окружающей среды и введения в изучаемый курс химии конкретных инженерных проблем, нестандартных ситуаций для реализации системной деятельности профессионального характера. Приводятся предложения конкретных специалистов производственного звена, которые могут способствовать улучшению экологической обстановки. Приведены примеры исследовательской работы студентов, обозначены проблемы экологического характера в целом и в особенности на транспорте (автомобильный, железнодорожный, сельскохозяйственный), методы их решения путем перестройки преподавания курса химии на методологической основе и способы воспитания экологического сознания через специальные задания экологической направленности (студенческие конференции, диспуты, семинары). Рассматривается эксперимент, проведенный в группах студентов, изучающих химию. Экспериментальные группы изучали химию с экологической направленностью и контрольные группы студентов изучали химию без экологической направленности. Оценка полученных знаний студентами, изучающими химию с экологической направленностью, на конечном этапе изучения химии выше, чем оценка полученных знаний студентами, изучающими химию без экологической направленности. Следовательно, введение экологических знаний в изучение учебной дисциплины «химия» повышает качество знаний у студентов, интерес и желание к изучению данной дисциплины и готовность применять полученные знания в будущей профессиональной деятельности.

Ключевые слова: загрязнение, задачи, воспитание, моделирование, образование, среда, экологизация, эксперимент.

Сегодня уже невозможно решать социально-экономические задачи без учета состояния природной среды. Развитие производительных сил и научно-технического прогресса резко обострили экологическую проблему и существенно повлияли на условия жизни людей.

Таким образом, для науки и образования, кроме известных задач, необходима и экологическая функция, направленная на сохранение природы и обеспечение гармонических условий для жизни человека. Важной задачей, вытекающей из этой функции, является формирование экологического сознания. Экологическое сознание – это мировоззренческие установки, убеждения о том, что современный экологический кризис поставит под угрозу существование самой природы и в первую очередь существование биосферы. Поэтому необходимо не только дать сведения студентам по экологии, но и сформировать новую культуру отношения к природе [1, с. 40–71].

В этой связи предлагается экологическое образование и воспитание начинать с первого курса, путем внесения экологических знаний в содержание общественно-политических, общеобразовательных, общенаучных, инженерных и специальных дисциплин. В экологическом воспитании студенческой молодежи помимо учебного процесса необходимо использовать также внеучебную и внеаудиторную работу. Среди этих форм можно выделить следующие: научно-исследовательская работа по экологической тематике, диспуты по экологическим вопросам, беседы за «круглым столом», проведение научно-практических студенческих конференций и семинаров, а также конкурсы студенческих работ [2, с. 250–253].

Все это приобретает особую актуальность в связи с явным экологическим кризисом, переживаемым нашей страной. И перед сегодняшними выпускниками, идущими на современное производство

и в науку, открывается большой фронт работы. Это и создание новых ресурсосберегающих и безотходных технологий, и использование нетрадиционных видов энергии – энергии солнца, ветра, термальных вод, и, конечно же, решение проблем охраны окружающей среды. Именно поэтому мы считаем очень важным экологизацию учебного процесса в техническом вузе вообще и в процессе обучения химии в особенности [3, с. 751].

Одной из наиболее актуальных экологических проблем в настоящее время остается загрязнение атмосферы. В каждом городе достаточно много антропогенных объектов, провоцирующих появление кислотных осадков. Самым главным загрязнителем атмосферы является транспорт. Выбросы автотранспорта складываются из выбросов двигателей автомобилей, продуктов износа их механических частей, покрышек и дорожного покрытия. В состав этих выбросов входят оксиды углерода, диоксиды азота и серы, которые становятся исходными веществами для образования атмосферных кислот. Смог содержит еще и твердые частицы, на поверхности которых адсорбируются циклические углеводороды, обладающие канцерогенными свойствами. Из этих и других веществ формируется фотохимический смог, в котором под действием света образуются еще более токсичные вещества – фосген и др. [4, с. 41–44].

Влияние атмосферы, осадков и особенно кислотных дождей на конструкционные материалы стало очевидным в последние 30–40 лет. За это время памятники культуры, находящиеся под открытым небом, пострадали сильнее, чем за все время своего существования. Исследования показали, что стойкость материалов к воздействию кислотных дождей уменьшается от бронзы к граниту, далее к чугуну, но самым неустойчивым является мрамор.

Кислотные дожди нарушают баланс жизни и в воде, наши запасы питьевой воды тоже подвержены их влиянию. Свинец и медь в кислотной среде могут поступать из грунтовых вод или систем водообеспечения. Тяжелые металлы и кислота приносят вред растениям и повышают кислотность почвы, что оказывает негативное влияние на урожай и лесные массивы [5, с. 34].

Наиболее сложная экологическая обстановка существует в полосе отвода, особенно в зоне

крупных промышленных центров. Свалки вдоль путей начинаются задолго до городов и станций. Сегодня на тысячекилометровых магистралях рассеяны сотни составов угля, минеральных удобрений, солей и др. Из-за массового рассыпания таких грузов нарушается работа рельсовых цепей, системы СЦР, а это уже прямая угроза безопасности движения. Еще более напряженное положение сложилось с перевозками жидких грузов. Наличие неисправных или неплотно закрытых сливных приборов наносит непоправимый вред окружающей среде [6, с. 4].

Поскольку технические решения принимают специалисты с высшим образованием, возрастает ответственность вузов, выпускающих специалистов технического профиля, и, как следствие, возникает проблема формирования экологической культуры будущих инженеров. Вуз должен готовить людей, способных предвидеть широкий круг экологических последствий проектных, технических и производственно-экономических решений. Важную роль в экологическом воспитании будущих инженеров должно сыграть изучение учебной дисциплины «химия».

Совершенно очевидно, что без перестройки преподавания дисциплин в техническом вузе перечисленные проблемы не решить. Экологизация учебного процесса означает не только и не столько рассмотрение в курсе дисциплин конкретных инженерных проблем, сколько изменение всего стиля обучения в сторону формирования у студентов экологического миропонимания. Для этого традиционный учебный материал дисциплин придется перевести из ранга предмета освоения в ранг средств достижения некоторой созидательной цели. Для этого нужны специальные дидактические материалы, представляющие анализ любого химического явления системно – одновременно с точки зрения всех взаимосвязанных его частей и с точки зрения целого. Без таких системных знаний невозможно развитие экологического мировосприятия, ибо оно знаменует новый тип целостности (биоценоз), в котором появляются новые свойства, отсутствующие у изолированных частей живой и неживой природы (электрон, атом, молекула, кристалл, химическая система, клетка, организм). Такие системные представления должны развиваться последовательно – от целого к частному, начиная с экологических систем.

С целью формирования экологической культуры студентов в процессе обучения дисциплине «химия» прежде всего следует обращать внимание на взаимодействие живого и неживого, где наиболее полно проявляется взаимопроникновение и взаимозависимость организмов, вод, твердой фазы и воздуха. Кроме того, знание причин тех или иных реальных явлений не позволит свести экологическую проблематику исключительно к химической технологии, направленной на ликвидацию последствий экологически и химически неграмотных действий.

Экологическая образованность – это прежде всего прогнозирование экологических последствий хозяйственной деятельности человека. Ведь не случайно потребность в системной деятельности возникает при столкновении со сложностью реальных явлений, и ее задача в том и состоит, чтобы превращать сложное в простое (объяснимое) и тем облегчать жизнь.

Однако для реализации системной деятельности необходимы нестандартные ситуации профессионального характера, которые, безусловно, ориентированы на созидательную развивающую деятельность. Их проблемная направленность учит студентов выбору принятия оптимального решения с учетом всех сторон и в первую очередь – экологической.

В своей работе мы используем разные формы проведения занятий экологической направленности. Очень действенными зарекомендовали себя выступления студентов с докладами на научных студенческих межвузовских конференциях, традиционно проводимых в нашем вузе. Вот некоторые из них (секция «Состояние среды и экологическая безопасность»): «Определение содержания свинца в почве и в растениях на различных расстояниях от оживленной автотрассы», «Экологические аспекты при изготовлении деталей для техники», «Использование отходов с геозащитным резервом для снижения негативного воздействия железнодорожного транспорта на окружающую среду», «Чистая природа – залог здорового будущего» и т.д.

Исследовательскими работами студентов выявлено негативное влияние выбросов автотранспорта на содержание зеленых пигментов в листьях деревьев. Выбросы приводят к нарушению феноритмов роста и развития растений, а также ускорению процессов старения организмов. В ходе исследова-

ния влияния транспорта на загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами были разработаны методики снижения концентрации ионов тяжелых металлов в поверхностном слое стоков дороги с помощью использования отходов боя бетона.

Все эти проблемы находят отражение в творческих заданиях, самостоятельно выполняемых студентами как индивидуально, так и коллективно. Например, «Проанализируйте состояние влажной почвы с точки зрения экологии при работе и после работы на ней сельскохозяйственной техники», «Рассмотрите проблему сточных вод на железнодорожном транспорте с точки зрения экологии» или «Проанализируйте конкретные экологические проблемы, связанные с работой сельскохозяйственной техники» или «Какова роль кислотных дождей (тяжелых металлов) в загрязнении окружающей среды».

В своей работе мы предлагаем также расчетные задачи с экологическим содержанием, которые позволяют раскрыть структуру и функционирование природных систем. В задачах с экологическим содержанием могут быть отражены вопросы регулирования состояния природной среды, а также меры по предотвращению негативных последствий антропогенного воздействия. Используются и задачи, способствующие развитию у студентов умения давать критическую оценку ситуации и осуществлять выбор решения. Оценка деятельности студентов при решении подобных задач дает представление об уровне сформированности экологических и химических знаний и умений, познавательных интересов, а также об интеллектуальном развитии студентов. Тексты задач и заданий с экологическим содержанием изложены в учебном пособии «Химия в агроинженерии», авторами которого являются Г.В. Рыбакова и Н.В. Заглядимова.

Известно, что «косметическими мерами», связанными с добавлением экологического «довеска» в традиционные курсы химии, экологической культуры не добиться. Как уже было сказано, нужна методологическая перестройка всего курса химии на системной основе в контексте экологических проблем. Нужен учебно-методический комплекс, включающий системно-деятельностное моделирование базовой учебной информации и набор учебно-профессиональных экологически ориентированных заданий для самостоятельных занятий.

*Некоторые показатели отношения студентов к изучению дисциплины «химия» с экологической направленностью*

Оцениваемые суждения	Среднее значение оценки (в баллах)			
	Начальный этап изучения		Конечный этап изучения	
	М <sub>КГ</sub>	М <sub>ЭГ</sub>	М <sub>КГ</sub>	М <sub>ЭГ</sub>
Как Вы оцениваете готовность к изучению дисциплины «химия» с экологической направленностью?	3.65	3.2	3.8	4.1
Оцените Ваш интерес и желание к изучению дисциплины «химия» с экологической направленностью	3.45	3.3	3.6	3.65

*Примечание.* М – среднее значение оценки (индексом «кг» обозначается контрольная группа, «эг» – экспериментальная группа); 1 балл – минимальное значение оценки, 5 баллов – максимальное.

Т а б л и ц а 2

*Самооценка студентами полученных знаний и умений в результате изучения дисциплины «химия» с экологической направленностью*

Среднее значение оценки	Контрольная группа		Экспериментальная группа	
	М <sub>КГ</sub>		М <sub>ЭГ</sub>	
	3.4		4.3	

Т а б л и ц а 3

*Экспертная оценка полученных знаний и умений студентов после изучения дисциплины «химия» с экологической направленностью*

Среднее значение оценки	Контрольный этап педагогического эксперимента	
	М <sub>КГ</sub>	М <sub>ЭГ</sub>
	3.8	4.1

Экологический аспект должен пронизывать весь курс изучаемых дисциплин, чтобы сформировать у будущих специалистов активную жизненную позицию, гражданский и государственный подход ко всем жизненно важным экологическим проблемам, столь существенно влияющим в наши дни на жизнь человека и страны в целом.

Мы исследовали процесс формирования экологической культуры в условиях преподавания дисциплины «химия». Для сравнения результатов исследований взяли две группы студентов. Одна группа студентов экспериментальная, а другая группа студентов контрольная. Эти группы были сформированы из шести учебных групп первого курса разных специальностей технического профиля, изучающих дисциплину «химию». Провели тестирование во всех этих группах на начальном этапе изучения химии. Максимальная оценка знаний пять баллов, минимальная – один балл. Те

группы, в которых средний балл был 3.2, определили как экспериментальные группы, а те, в которых средний балл был 3.6 – как контрольные группы. В экспериментальную группу вошли три учебные группы, также, как в контрольную. В контрольной группе студенты изучали химию без экологической направленности, студенты экспериментальной группы изучали химию с экологической направленностью.

В ходе эксперимента мы проводили среди студентов анкетирование и тестирование. Оценивали следующие показатели: интерес и готовность студентов к изучению химии с экологической направленностью, уровень усвоения учебного материала, желание и готовность применять полученные знания и навыки при изучении учебной дисциплины «химия» с экологической направленностью в будущей профессиональной деятельности. Оценка показателей осуществлялась на на-

чальном и конечном этапах изучения дисциплины «химия». Оценка показателей знаний студентов при изучении химии с экологической направленностью на конечном этапе изучения химии составляла 4.1 балла, а оценка знаний студентов, изучающих химию без экологической направленности, составила 3.8 балла. Некоторые результаты приведены в табл. 1–3.

Проанализировав результаты, мы пришли к выводу, что введение экологических знаний в изучение учебной дисциплины «химия» повышает качество знаний у студентов, интерес и желание к изучению данной дисциплины и готовность применять полученные знания в будущей профессиональной деятельности.

#### Литература

1. Экология. М.: Юрайт, 2011. 431 с.
2. Загрядимова Н.В., Кашицына С.В. Экологический аспект в методике изучения химии в железнодорожном вузе // Вестник МАНЭБ международной академии наук и безопасности жизнедеятельности. 2012. Т. 17, № 3. С. 250–253.
3. Степановских А.С. Прикладная экология: охрана окружающей среды. М., 2003. 790 с.

4. Вишняков Я.Д., Зозуля А.В. Природоохранная программа снижения вредного воздействия автомобильного транспорта на воздушный бассейн Москвы // Экология и промышленность России. 2003. № 11. С. 41–44.

5. Павлова Е.И. Экология транспорта. М., 2010. 368 с.

6. Гапанович В.А. Экологический вестник // Железнодорожный транспорт. 2014. № 8. С. 22–25.

#### References

1. Ecology. Uchebnoe posobie, A.V. Totay (ed.). Moscow, Yurayt, 2011. 431 p.

2. Zaglyadimova N.V., Kashitsyna S.V. Ecological aspect in the methods for learning chemistry in universities of railway transport. Vestnik Mezhdunarodnoy akademii nauk i bezopasnosti zhiznedeyatelnosti, 2012, vol. 17, no. 3, pp. 250–253.

3. Stepanovskikh A.S. Applied ecology: Environmental protection. Moscow, 2003. 790 p.

4. Vishnyakov A.D., Zozulya A.V. Environmental protection program for reducing the motor transport harmful impact on the aerial environment of Moscow. Ekologiya i promyshlennost Rossii, 2003, no. 11, pp. 41–44.

5. Pavlova E.I. Transport ecology. Uchebnik. Moscow, 2010. 368 p.

6. Gapanovich V.A. Energy efficiency as the way to reduce costs and ensuring the environmental safety. Zheleznodorozhnyy transport, 2014, no. 8, pp. 22–25.

---

## FORMATION OF ECOLOGICAL CULTURE AMONG STUDENTS IN TECHNICAL UNIVERSITIES

© G.V. Rybakova

Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics  
22a, ulitsa Oktybrskaya, 606430, Knyaginino, Nuzhny Novgorod Oblast, Russian Federation

The article deals with the issues in the formation of ecological culture among the students of technical universities in the process of learning chemistry. Attention is paid to the problem of full manifestation of the interdependence and interaction between living and non-living things. Consideration is given to the ecological function and the related task of promoting environmental awareness in the educational process and extracurricular work. It is proposed to enhance the work on environmental pollution control and to introduce specific engineering problems in studying the chemistry course. Non-standard situations are analyzed in the implementation of competence-based system activities; industrial experts' proposals are presented to contribute to the improvement of the environmental situation. The article describes some examples of student research work, identifies the environmental problems in general and those associated with motor, railway and agricultural transport in particular and outlines the approaches to their solution by changing chemistry teaching methods and ways to raise environmental awareness through special ecological events (student conferences, discussions, workshops). It also examines the experiment conducted in chemistry learning groups of students. The experimental groups studied chemistry with an environmental focus while the control groups studied chemistry without environmental orientations. The assessment of students' knowledge in chemistry with an environmental focus at the final stage was higher compared to that without environmental orientations. Thus, the introduction of the ecological component in teaching chemistry enhances the quality of students' knowledge, their interest and desire to study this discipline and their willingness to apply the knowledge received in future practice.

Key words: pollution, objectives, training, simulation, education, environment, ecologization, experiment.

УДК 547.841.5/.66+546.26+547.421+544.576

## СИНТЕЗ ДИОКСАНОВОГО ПРОИЗВОДНОГО $C_{70}$ В ГЕТЕРОГЕННОЙ РЕАКЦИИ ФУЛЛЕРЕНА С ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

© З.С. Кинзябаева, Г.Л. Шарипов

Разработан селективный и эффективный способ синтеза 5,6-дигидро[ $C_{70}$ -D<sub>5h(6)</sub>][5,6](1,4-диоксано)фуллере́на (**2**), основанный на гетерогенной реакции раствора  $C_{70}$  в *o*-дихлорбензоле с этиленгликолем (**1**) в присутствии твердого NaOH под действием ультразвука. На основании данных ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C и УФ-спектроскопии установлено, что диоксановое монопроизводное  $C_{70}$  является 5,6-изомером. Максимальный выход **2** (92%) достигается при соотношении  $C_{70}$ :**1**:NaOH = 1:10<sup>3</sup>:62.5 (10°C, 2 ч). Проведение сонохимической реакции  $C_{70}$  с **1** в *o*-ДХБ при отсутствии NaOH не приводит к образованию **2**. Сонолиз при комнатной температуре приводит к значительному снижению селективности по продукту **2**. Реакция  $C_{70}$  с **1** в *o*-ДХБ в присутствии NaOH при перемешивании при 10°C и комнатной температуре без воздействия ультразвука не идет. Предложен возможный механизм образования **2**. NaOH в сонохимической реакции  $C_{70}$  с **1** акцептирует протон гидроксильной группы, что ведет к облегчению образования активного интермедиата реакции – алкоксид аниона. Наряду с этим идет параллельный процесс, который включает стадию инициированной ультразвуком ионизации фуллере́на с образованием катион-радикала  $C_{70}^{+•}$ , который взаимодействует с активным алкоксид-анионом. Далее через несколько стадий образования промежуточных интермедиатов (фуллере́нильного радикала, анион-радикала диоксанового аддукта  $C_{70}$ ) в результате передачи электронов на молекулу кислорода образуется конечный продукт **2**. Ультразвук позволяет селективно присоединить моноадденд к каркасу фуллере́на с высоким выходом в гетерогенной среде без использования катализаторов межфазного переноса. Сонохимическая реакция имеет значительное преимущество по сравнению с термически инициированной реакцией, т. к. последняя приводит к образованию полиаддукта  $C_{70}$ .

Ключевые слова: ультразвук, сонохимия, гетерогенная реакция, фуллерен  $C_{70}$ , этиленгликоль, производные  $C_{70}$ .

**Введение.** В последние годы в органическом синтезе все больше применяется способ активации химических процессов воздействием ультразвука [1]. В частности, использование ультразвука способствовало разработке новых подходов к функционализации фуллере́нов  $C_{70}$ , обеспечивающих высокие выходы целевых продуктов и легкое присоединение к углеродному каркасу функциональных групп [2–7]. Известно, что присоединение к фуллерену  $C_{70}$  малых одновалентных аддендов и аннелирование циклов идет по приплюсненным [6,6] 1,9- и 7,8-связям (по номенклатуре ИЮПАК 1,2- и 5,6-связи) [8]. Так, реакции  $C_{70}$  с различными окислителями (3-хлорпероксибензойная кислота, 4-метилморфолин N-оксид, оксид хрома (VI), моноперсульфат) под действием ультразвука при комнатной температуре приводит к образованию эпоксидов  $C_{70}O_n$  ( $n = 1–2$ ). Использо-

вание ультразвука значительно сокращает время реакции окисления  $C_{70}$  [2]. Реакция фуллере́на при ультразвуковом облучении со смесью концентрированных серной и азотной кислот (25–43°C), приводит к образованию водорастворимого фуллере́на  $C_{70}$  [3]. Ультразвуковая обработка способствует включению фуллере́на  $C_{70}$  в структуру воды и образованию клатрата  $[C_{70}@(\text{H}_2\text{O})_n]$ . Циклоприсоединение 2-азидоэтил-гликозидов (комнатная температура) и метилазидоацетатов (25–43°C, бензол, 2 дня) к фуллерену  $C_{70}$  при ультразвуковом облучении приводит к азиридинофуллере́нам  $C_{70}$ , содержащим соответственно гликозидную [4] и ацетатную группы [5]. Анализ спектральных данных ЯМР <sup>13</sup>C и УФ-спектроскопии указывает, что основным аддуктом является закрытый [5, 6] – изомер. Сонохимическая реакция оксидов фуллере́на  $C_{70}O_n$  ( $n \geq 1$ ) с ароматическими амина-

КИНЗЯБАЕВА Земфира Сабитовна – к.х.н., Институт нефтехимии и катализа РАН, e-mail: zefa5@ Rambler.ru  
ШАРИПОВ Глюс Лябибович – д.х.н., Институт нефтехимии и катализа РАН, e-mail: glus@anrb.ru

ми (4-нитроанилин, 3-нитроанилин и 4-изопропиланилин) в присутствии  $FeCl_3$  приводит к получению аддуктов  $C_{70}$  с аминами [6]. Фуллерены  $C_{60}$  и  $C_{70}$  бромировали путем обработки ультразвуком смесей фуллерен/бром. Бромированные производные  $C_{70}$ , синтезированные с помощью ультразвука, имеют состав  $C_{70}Br_{12}$  или  $C_{70}Br_{14}$  [7].

Сведения о синтезах соединений фуллеренов, содержащих диоксановый фрагмент, в литературе достаточно скудны, и среди этих работ нет сообщений об использовании ультразвука [9]. В отличие от  $C_{60}$  для фуллерена  $C_{70}$  его диоксановые производные до настоящего времени не были описаны.

В данной работе предложен новый и эффективный метод синтеза диоксанового производного фуллерена  $C_{70}$ , основанный на сонохимической гетерогенной реакции раствора  $C_{70}$  с этиленгликолем в *o*-дихлорбензоле (*o*-ДХБ) в присутствии твердого NaOH.

**Экспериментальная часть.** В работе использовали коммерческий фуллерит  $C_{70}$  (95.5%), полученный в дуговом разряде между графитовыми электродами (Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН, Нижний Новгород). Этиленгликоль марки «чда» использовался без дальнейшей очистки. В качестве растворителя использовали *o*-ДХБ марки «спектрофотометрически чистый». Источником ультразвуковых колебаний являлся диспергатор ультразвуковой УЗДН-2Т, с рабочей частотой генератора 22 КГц, мощностью 40 Вт. Генератор снабжен пьезоэлектрическим преобразователем с погружным титановым волноводом, диаметр излучающей поверхности которого 12 мм. Использовали стеклянный реактор (100 × 35 мм) с термостатируемой рубашкой для поддержания требуемой температуры (10°C). Высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) проводили на хроматографе Hewlett Packard, серия 1090, с УФ детектором ( $\lambda_{\text{макс.}} = 340$  нм), колонка Вискоргер Waters 4.6 × 250 мм при температуре колонки 30°C, подвижная фаза – толуол, скорость потока 1.0 мл/мин. Продукты реакции разделяли методом препаративной ВЭЖХ на хроматографе Altex-330 (США) с УФ детектором ( $\lambda_{\text{макс.}} = 340$  нм), колонка металлическая Cosmosil Вискоргер Waters 10 × 250 мм при комнатной температуре. Подвижная фаза – толуол, скорость потока 2.0 мл/мин.

УФ, видимые спектры растворов в *o*-ДХБ или  $CHCl_3$  регистрировали на спектрометре Perkin Elmer Lambda 750 ( $l = 0.1$  и  $1$  см), а ИК спектры на приборе Bruker Vertex 70V в пленке  $CHCl_3$ . Спектры ЯМР  $^1H$  и  $^{13}C$  – на спектрометре Bruker Avance-500 (рабочая частота 500.17 и 125.78 МГц). В качестве растворителя использовали  $CDCl_3$ , а внутреннего стандарта –  $Me_4Si$ . Масс-спектры получены на приборе Bruker MALDI TOF/TOF Autoflex-III с лазерной десорбцией и регистрацией отрицательных и положительных ионов в отражательном режиме. В качестве матрицы использовали элементную серу  $S_n$ .

#### Синтез 5,6-дигидро[ $C_{70}-D_{5h(6)}$ ][5,6](1,4-диоксано)фуллерена

К 10 мл раствора фуллерена  $C_{70}$  (35 мг, 0.04 ммоль) в *o*-ДХБ добавляли этиленгликоль (2.3 мл, 40 ммоль) и твердый NaOH (0.1 г, 2.5 ммоль). Полученную гетерогенную смесь помещали в реактор с охлаждающей рубашкой и подвергали воздействию ультразвука при 10°C в течение 2 часов. Исходный темно-красный раствор фуллерена  $C_{70}$  приобретал темно-коричневый цвет, после чего его отделяли от желтого слоя этиленгликоля и пропускали через колонку, заполненную силикагелем. Продукт реакций выделяли с помощью препаративной ВЭЖХ. После удаления растворителя в вакууме получался коричневый порошок соединения **2**. Выход **2** 34.5 мг (92%).

5,6-дигидро[ $C_{70}-D_{5h(6)}$ ][5,6](1,4-диоксано)-фуллерен (**2**). Темно-коричневый порошок,  $mp > 300^\circ C$ ; ИК спектр,  $\nu$ ,  $cm^{-1}$ : 2849-2918 (C-H), 2920 (C-H), 1460, 1427, 1098 (C-O-C), 793, 727, 671, 633, 577, 533; УФ спектр ( $CHCl_3$ ),  $\lambda_{\text{макс.}}$ , нм: 313-318, 379, 394, 462;  $^1H$  NMR (500 MHz,  $CDCl_3$ ):  $\delta$  (ppm) 4.35 (s, 4H);  $^{13}C$  NMR (125 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$  (ppm) 56.93 (2C), 74.64 (2C,  $sp^3-C$  of  $C_{60}$ ), 130.82, 131.27, 137.24, 137.97, 142.41, 142.79, 143.12, 144.91, 145.32, 145.45, 145.53, 146.41, 146.73, 147.34, 148.017, 148.41, 148.71, 150.22, 152.38, 153.44, 156.79, 158.56. Масс-спектр: ( $m/z$ ) 900.025 [ $M$ ]<sup>+</sup>, 900.044 [ $M$ ]<sup>-</sup>  $C_{72}H_4O_2$ . Вычислено  $M$  900.021.

**Обсуждение результатов.** В результате облучения ультразвуком (10°C, 2 ч) гетерогенной смеси раствора  $C_{70}$  в *o*-ДХБ, этиленгликоля и твердого NaOH (несмешивающиеся системы: «жидкость–жидкость» и «жидкость–твердое вещество») исходные темно-красные растворы фул-

лерена в *o*-ДХБ приобретали темно-коричневый цвет. Реакцию в слое *o*-ДХБ (схема 1) контролировали методом ВЭЖХ. ВЭЖХ-хроматограммы растворов после реакции содержат пики продукта **2** с  $t_{\text{уд.}} = 7.5$  мин и непрореагировавшего  $C_{70}$  с  $t_{\text{уд.}} = 10.8$  мин. Методом препаративной ВЭЖХ из реакционного раствора выделена фракция, содержащая продукт **2**.

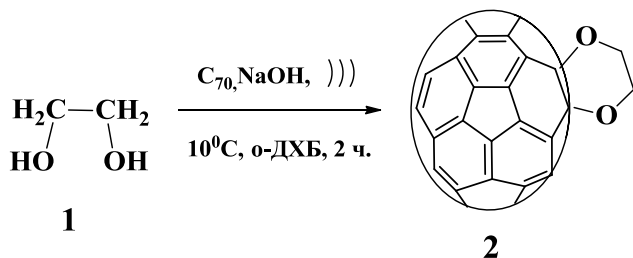


Схема 1. Синтез 5,6-дигидро[ $C_{70}$ -D<sub>5h(6)</sub>][5,6](1,4-диоксано)фуллерена в реакции  $C_{70}$  с этиленгликолем под действием ультразвука

Соединение **2** идентифицировано с использованием масс-(MALDI TOF/TOF), ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ , ИК и УФ-, видимой спектроскопии.

Масс-спектр **2** содержит пик молекулярного иона с  $m/z$  900 (83.8%) [ $M_{70} = C_{60}(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O})^+$  Да, а также пик осколочного фрагмента иона с  $m/z$  840 (100%) [ $M-(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O})^+$  Да, обусловленный выбросом диоксанового адденда. Молекулярная природа пика с атомным числом 900 подтверждается усилением его интенсивности при использовании матрицы (элементарная сера) для положительных и отрицательных ионов.

Диоксанный фрагмент аддукта **2** проявляется в спектре ЯМР  $^1\text{H}$  сигналами метиленовых протонов при  $\delta$  4.35 м.д., а в спектре ЯМР  $^{13}\text{C}$  – характерным сигналом при  $\delta$  56.93 м.д.;  $sp^3$ -гибридизованные атомы углерода фуллереновой сферы резонируют при  $\delta$  74.64 м.д. В области  $\delta$  130–160 м.д. зарегистрированы сигналы  $sp^2$ -гибридизованных атомов фуллереновой сферы.

УФ спектр **2** содержит максимумы при 313–318, 379, 394, 462 нм (рис.). Наличие небольшого пика при 379 нм указывает на присутствие 5,6-изомера **2**. Этот спектр коррелирует с известным спектром 7,8-изомера (по номенклатуре ИЮПАК 5,6-изомер)  $C_{70}\text{H}_2$  [10], который содержит небольшой пик при 375 нм. ИК-спектр **2** содержит полосы фуллеренового каркаса при 533, 577, 633, 671, 727, 793, 1427, 1460  $\text{cm}^{-1}$ , полосы валентных коле-

баний связей С–О–С при 1098  $\text{cm}^{-1}$  и С–Н при 2849–2918  $\text{cm}^{-1}$ .

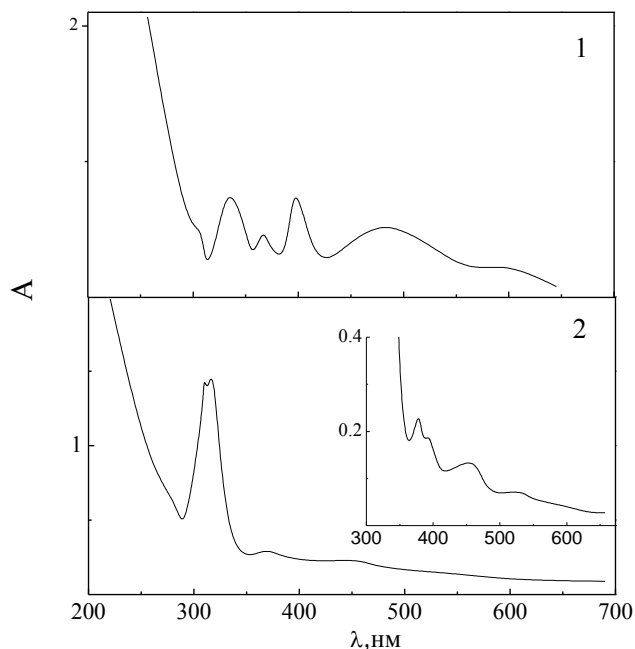


Рис. Спектры поглощения растворов,  $1 = 0.1$  см;  $4 \cdot 10^{-3}$  моль/литр: 1 – раствор  $C_{70}$  в *o*-ДХБ; 2 – циклоаддукт **2** в  $\text{CHCl}_3$ . На вставке более подробно дана область спектра 300–700 нм

Максимальный выход (92%) **2** достигается при соотношении  $C_{70}$ :**1**:NaOH = 1:10<sup>3</sup>:62.5 (10°C, 2 ч). Сонолиз при комнатной температуре приводит к значительному снижению селективности по продукту **2**; в этом случае основным является продукт полиприсоединения диоксановых фрагментов к каркасу фуллерена ( $n = 5$ , по данным масс-спектров). Время реакции (2 часа) является оптимальным, поскольку выход диоксанового моноаддукта  $C_{70}$  достигает максимального значения, а увеличение времени излучающего облучения ведет к продукту полиприсоединения с  $t_{\text{уд.}} = 3.1$  мин (контролировали по данным ВЭЖХ и масс-спектров). Реакция  $C_{70}$  с **1** в *o*-ДХБ в присутствии NaOH при перемешивании при 10°C и комнатной температуре без воздействия ультразвука не идет. При нагревании этой смеси до 70–100°C происходит образование продуктов полиприсоединения диоксановых аддуктов к каркасу фуллерена  $C_{70}$  ( $n = 5$ , по данным масс-спектров). Проведение сонохимической реакции  $C_{70}$  с **1** в *o*-ДХБ при отсутствии NaOH не приводит к образованию **2**. Сонохимическая реакция  $C_{70}$  с **1** в присутствии кислот ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  или HCl) не идет. При увеличении поляри-



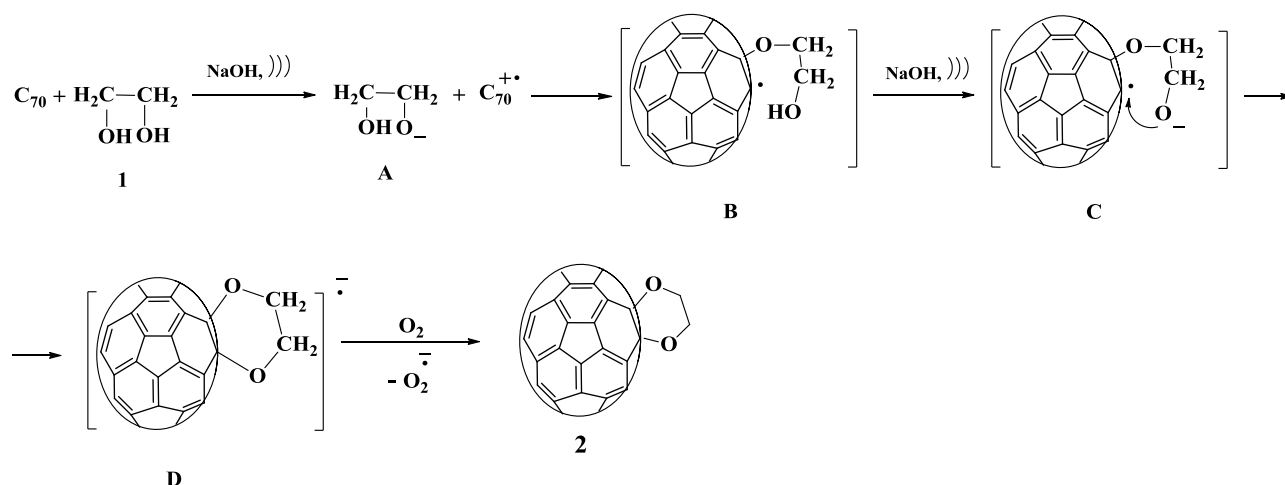


Схема 2. Вероятный механизм синтеза диоксанового производного  $C_{70}$

ности среды сокращается время реакции ( $o$ -ДХБ:  $\text{CH}_3\text{CN} = 1:1$ , 0.5 час), однако наряду с **2** образуются бис- и трис-аддукты.

На основании изложенных экспериментальных данных нами предложен возможный механизм образования диоксанового моноаддукта  $C_{70}$  **2** (схема 2).

В реакции используется твердый NaOH и нерастворимый в  $o$ -ДХБ этиленгликоль, которые под действием ультразвука эффективно диспергируются (NaOH) и эмульгируются (этиленгликоль) в растворе  $C_{70}$  в  $o$ -ДХБ. Это приводит к увеличению площади реагирующих поверхностей всех реагентов реакции с образованием диоксанового моноаддукта  $C_{70}$  **2**. Из-за низкого давления паров  $C_{70}$  не попадает непосредственно в кавитационные пузырьки, хотя в жидкой фазе он будет участвовать во вторичных реакциях продуктов сонолиза, образующихся в пузырьках и выходящих в жидкость. NaOH в сонохимической реакции  $C_{70}$  с этиленгликолем акцептирует протон гидроксильной группы, что ведет к облегчению образования активного интермедиата реакции – алкоксид аниона A (см. схема 2). Наряду с этим идет параллельный процесс, который включает стадию иницированной ультразвуком ионизации фуллерена с образованием катион-радикала  $C_{70}^{+\bullet}$  и его последующее взаимодействие с активным алкоксид-анионом A, с образованием фуллеренильного радикала B, который далее через C и D ведет к образованию **2**. В дальнейшем мы планируем экспериментальное и теоретическое исследование данного сложного процесса.

**Вывод.** Таким образом, нами разработан селективный и эффективный способ синтеза 5,6-дигидро[ $C_{70}$ -D<sub>5h(6)</sub>][5,6](1,4-диоксано)фуллерена, основанный на гетерогенной реакции  $C_{70}$  с этиленгликолем в присутствии NaOH под действием ультразвука. Применение ультразвука позволяет осуществить селективное присоединение диоксанового адденда к каркасу фуллерена  $C_{70}$  с высоким выходом в гетерогенной среде без использования катализаторов межфазного переноса.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-03-00822).*

## Литература

1. Synthetic Organic Sonochemistry. New York: Plenum Press, 1998. С. 431.
2. Ko W.B., Baek K.N. The oxidation of fullerene [C70] with various oxidants by ultrasonication // Ultrasonics. 2002. V. 39. P. 729–733.
3. Ko W. B. Park Y. H., Jeong M. K. Preparation of a water-soluble fullerene [C70] under ultrasonic irradiation // Ultrasonics. 2006. V. 44. P. e367–e369.
4. Yoon S., Hwang S.H., Ko W.B. Ultrasound-assisted Cycloadditions of [70]Fullerene with Various 2-Azidoethyl per-*O*-acetyl Glycosides // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. 2009. V. 17. P. 496–506.
5. Yoon S., Hwang S. H., Hong S. K., Lee J. H., Ko W.B. Sonochemical Synthesis of Closed [5,6]-bridged Aziridino[70]fullerene Derivative and Self-assembled Multilayer Films // Carbon Letters. 2009. V. 10. P. 325–328.

6. Ko W.B., Park B.E., Lee Y.M. Sonochemical Reaction of Fullerene Oxides,  $[C_{70}(O)_n]$  ( $n \geq 1$ ) with Aromatic Amines // *Elastomer*. 2008. V. 43. P. 31–38.

7. Cataldo F., Ursini O., Ragni P. Ultrasound-assisted Bromination. Part 1: Bromination of  $C_{60}$  and  $C_{70}$  // *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures*. 2013. V. 21. P. 346–356.

8. Spielmann H.P., Wang G.-W., Meier M.S., Weedon B.R. Preparation of  $C_{70}H_2$ ,  $C_{70}H_4$ , and  $C_{70}H_8$ : Three Independent Reduction Manifolds in the Zn(Cu) Reduction of  $C_{70}$  // *J. Org. Chem.* 1998. V. 63. P. 9865–9871.

9. Zhang X.F., Li F.B., Wu J., Shi J.L., Liu Z., Liu L. Synthesis of Fullerene-Fused Dioxanes / Dioxepanes: Ferric Perchlorate-Mediated One-Step Reaction of [60]Fullerene with Diols // *J. Org. Chem.* 2015. V. 80. P. 6037–6043.

10. Henderson C.C., Rohlfling C.M., Gillen K.T., Cahill P. A. Synthesis, Isolation, and Equilibration of 1,9- and 7,8- $C_{70}H_2$  // *Science*. 1994. V. 264. P. 397–399.

### References

1. Synthetic Organic Sonochemistry, ed. J.L. Luche. New York, Plenum Press, 1998, 431 p.

2. Ko W. B., Baek K. N., The oxidation of fullerene [C70] with various oxidants by ultrasonication, *Ultrasonics*, 2002, vol. 39, pp 729–733.

3. Ko W. B. Park Y. H., Jeong M. K. Preparation of a water-soluble fullerene [C70] under ultrasonic irradiation, *Ultrasonics*, 2006. Vol. 44, pp e367–e369.

4. Yoon S., Hwang S.H., Ko W.B., Ultrasound-assisted Cycloadditions of [70]Fullerene with Various 2-Azidoethyl per-*O*-acetyl Glycosides, Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, 2009, Vol. 17, pp. 496–506.

5. Yoon S., Hwang S.H., Hong S.K., Lee J.H., Ko W.B., Sonochemical Synthesis of Closed [5,6]-bridged Aziridino[70]fullerene Derivative and Self-assembled Multilayer Films, *Carbon Letters*, 2009, Vol. 10, pp 325–328.

6. Ko W.B., Park B.E., Lee Y.M., Sonochemical Reaction of Fullerene Oxides,  $[C_{70}(O)_n]$  ( $n \geq 1$ ) with Aromatic Amines, *Elastomer*, 2008, Vol. 43, pp 31–38.

7. Cataldo F., Ursini O., Ragni P., Ultrasound-assisted Bromination. Part 1: Bromination of  $C_{60}$  and  $C_{70}$ , *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures*, 2013, Vol. 21, pp 346–356.

8. Spielmann H.P., Wang G.-W., Meier M.S., Weedon B.R., Preparation of  $C_{70}H_2$ ,  $C_{70}H_4$ , and  $C_{70}H_8$ : Three Independent Reduction Manifolds in the Zn(Cu) Reduction of  $C_{70}$ , *J. Org. Chem.*, 1998, Vol. 63, pp. 9865–9871.

9. Zhang X.F., Li F.B., Wu J., Shi J.L., Liu Z., Liu L., Synthesis of Fullerene-Fused Dioxanes/ Dioxepanes: Ferric Perchlorate-Mediated One-Step Reaction of [60]Fullerene with Diols, *J. Org. Chem.*, 2015, Vol. 80, pp 6037–6043.

10. Henderson C.C., Rohlfling C.M., Gillen K.T., Cahill P.A., Synthesis, Isolation, and Equilibration of 1,9- and 7,8- $C_{70}H_2$ , *Science*, 1994, Vol. 264, pp 397–399.

## SYNTHESIS OF THE DIOXANE DERIVATIVE $C_{70}$ IN THE HETEROGENEOUS REACTION OF FULLERENE WITH ETHYLENE GLYCOL UNDER THE ACTION OF ULTRASOUND

© Z.S. Kinzabaeva, G.L. Sharipov

Institute of Petrochemistry and Catalysis, RAS,  
450075, Ufa, Prospect of October, 141

A novel ultrasonic-mediated approach to the synthesis of 5,6-dihydro  $[C_{70}-D_{5h(6)}]$  [5,6] (1,4-dioxano) fullerene (**2**) based on the heterogeneous reaction of fullerene with 6-diols and NaOH has been developed. It allows producing the fullerene derivatives with high yields and selectivity. Based on NMR data of  $^1H$  and  $^{13}C$  and UV spectroscopy, it was concluded that the dioxane mono compound of  $C_{70}$  is a 5,6-isomer. The highest yield (92%) is achieved at the ratio  $C_{70} : \mathbf{1} : NaOH = 1 : 10^3 : 62.5$  ( $10^\circ C$ , 2 hours). In the absence of NaOH, the  $C_{70}$  fullerene does not produce **2** in the reaction with **1** in *o*-DCB. The sonolysis at room temperature leads to a significant decrease of the selectivity relative to product **2**. It is important that  $C_{70}$  does not react with **1** (in *o*-DCB, NaOH) without ultrasonication both at  $10^\circ C$  and room temperature. A possible mechanisms of the sonochemical formation of product **2**. Under the action of NaOH and ultrasound on ethylene glycol, the OH bond heterolytically dissociates forming nucleophilic intermediate of the reaction, the alkoxide - anion. Along with this, there is a parallel process that includes the stage of ultrasound-initiated fullerene ionization with the formation of the  $C_{70}^{+*}$  radical-cation, which interacts with the active alkoxide anion. Further, after several stages of formation of intermediate intermediates (fullerenyl radical, anion of the radical of the dioxane adduct  $C_{70}$ ), as a result of electron transfer to the oxygen molecule, an end product **2** is formed. Ultrasound makes possible the selective addition of one addend to the fullerene framework with high yield in a heterogeneous medium without use of interphase transfer catalysts. The sonochemical reaction has the significant advantage in comparison with the thermally initiated reaction because the last one leads to the formation of the  $C_{60}$  polyadduct.

Key words: ultrasound, sonochemistry, heterogeneous reaction,  $C_{70}$  fullerene, ethylene glycol,  $C_{70}$  derivatives.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФИРНОГО МАСЛА *ARTEMISIA ABSINTHIUM*, *ARTEMISIA ARMENIACA* И *ARTEMISIA LATIFOLIA*

© С.Г. Ржевский, В.А. Агафонов, А.А. Мальцева,  
А.А. Верлина, А.В. Фалалеев, Х.С. Шихалиев

Приведены результаты анализа состава эфирного масла *Artemisia absinthium*, *Artemisia armeniaca* и *Artemisia latifolia*, выполненного методом хроматомасс-спектрометрии. Многие виды полыни являются перспективным источником биоактивных веществ, однако не все из них изучены в достаточной степени. Имеются некоторые данные анализа эфирного масла *A. armeniaca*, сведений об аналогичных исследованиях *A. latifolia* в доступной литературе не обнаружено. В то же время известно, что экстракты *A. armeniaca* обладают биологической активностью и могут найти применение в фармацевтике, что делает перспективным изучение химического состава данного вида и близких к нему. Фармакопейный вид *A. absinthium* применяется в медицине, он может служить для сравнения концентрации тех или иных компонентов. В результате проведенного исследования идентифицированы основные компоненты эфирного масла *A. absinthium*, *A. armeniaca* и *A. latifolia*, установлено их количественное содержание. В составе эфирного масла *A. absinthium* обнаружено 32 соединения, из которых идентифицированы 28, при этом 16 из них можно отнести к специфическим для данного вида. В эфирном масле *A. armeniaca* обнаружен 31 компонент, из которых идентифицированы 28 соединений (из них – 9 уникальных). В эфирном масле *A. latifolia* показано присутствие 68 компонентов, идентифицировано 40 различных соединений (из них – 22 уникальных). По итогам анализа проведено хемосистематическое сравнение видов, установлено, что 5 компонентов (2-туен, о-цимен, β-мирцен, терпинен-4-ол и кариофиллен) присутствуют во всех трех изучаемых видах; в то время как еще 10 компонентов (α-пинен, сабинен, транс-β-оцимен, α-оцимен, валрицин, спатуленол, D-лимонен, в-элемен, кариофиллен оксид, валеранон) свойственны только для близкородственных *A. armeniaca* и *A. latifolia*; кроме того, полынь *A. armeniaca* и *A. latifolia* имеют по 4 и 3 эксклюзивных совпадения с составом *A. absinthium*, входящей в другую секцию рода. Результат данного исследования подтверждает, что наиболее характерными компонентами эфирного масла для представителей секции *Abrotanum* являются пинены, а также встречаются цинеол и сабинен, добавляя к вышеуказанным веществам оцимен и спатуленол. Впервые полученные данные по составу эфирного масла *A. latifolia* свидетельствуют о том, что он близок к составу *A. armeniaca*, собранной на той же территории, но обладает и специфическими компонентами.

Ключевые слова: полынь, эфирное масло, терпеноиды, *Artemisia absinthium*, *Artemisia armeniaca*, *Artemisia latifolia*.

**Введение.** *Artemisia absinthium* L. (полынь горькая), *A. armeniaca* Lam. (полынь армянская), и *A. latifolia* Ledeb. (полынь широколистная) – редкие и охраняемые виды, встречающиеся во многих регионах Российской Федерации (РФ) и приграничных территориях [1]. Полынь горькая используется в медицине для усиления секреции пищеварительных желез, другие виды полыни

мало изучены, и не являются фармакопейными. Исследованием эфирных масел (ЭМ) представителей данного рода занимались ученые Ирана, Казахстана, Азербайджана [2, 4]. Изучение состава ЭМ растений используется для хемосистематических исследований [5]. Известно, что состав ЭМ представителей одного и того же вида, собранных в различных частях ареала с отлича-

РЖЕВСКИЙ Станислав Геннадьевич, Воронежский государственный университет, e-mail: slavaosin@yandex.ru

АГАФОНОВ Владимир Александрович – д.б.н., Воронежский государственный университет,

e-mail: office@main.vsu.ru

МАЛЬЦЕВА Алевтина Алексеевна – к.б.н., Воронежский государственный университет, e-mail: office@main.vsu.ru

ВЕРЛИНА Алена Андреевна, Воронежский государственный университет, e-mail: office@main.vsu.ru

ФАЛАЛЕЕВ Александр Владимирович – к.х.н., Воронежский государственный университет,

e-mail: office@main.vsu.ru

ШИХАЛИЕВ Хидмет Сафарович – д.х.н., Воронежский государственный университет, e-mail: office@main.vsu.ru

ющимися климатическими условиями, может быть различен, поэтому определенный интерес представляет собой анализ ЭМ полыни армянской, собранной на территории центрального Черноземья; кроме того, актуально изучение состава ЭМ близкого вида полыни широколистной, так как подобные данные отсутствуют в доступной литературе.

Целью работы являлось выделение и сравнительное исследование качественных и количественных характеристик ЭМ *A. absinthium*, *A. armeniaca* и *A. latifolia*. На основе полученных данных предполагалось уточнение хемосистематических отношений между изучаемыми видами.

**Материалы и методы.** Объектом исследования являлась трава полыни армянской (*A. armeniaca*) и полыни широколистной (*A. latifolia*), заготовленные в Липецкой области летом 2016 года. Растения были собраны на территории заповедника «Галичья Гора», в урочище «Быкова Шея» и определены автором. Так как в медицинской практике в РФ к использованию разрешен только один вид полыни – *A. absinthium*, трава данного растения также была использована в эксперименте для сравнения. Сырье изучаемых видов заготавливали самостоятельно во время цветения, без одревесневших частей растения, и использовали в свежем виде.

1. **Получение ЭМ.** Эфирное масло получали с использованием прибора Гинзберга. Для этого отвешивали 100,0 г растительного сырья, помещали в круглодонную колбу, заливали 350 мл горячей дистиллированной воды, затем колбу присоединяли к обратному холодильнику. Перегонку проводили на воздушной бане в течение трех часов. Цена деления приемника для эфирного масла составляла 0,025 [6].

2. **Анализ ЭМ методом ГХ/МС.** Для определения качественного состава и количественного содержания отдельных компонентов полученные образцы ЭМ в количестве около 7.0 мг растворяли в 1.0 мл хлористого метилена. Анализ проводился на хроматографе Agilent 7890B GC System с детектором масс Agilent 5977A MSD. Использовалась инъекция 1.0 мкл, деление потока 80:1. Применялась неполярная колонка: HP-5MS UI (30 м × 0.250 мм × 0.25 мкм), фаза – (5% фенил)-метилполисилоксан (кат. №19091S-433UI). Газом-носителем

служил гелий, скорость его движения составляла 0.6–1.0 мл/мин, температура узла ввода пробы – 280°C, применялась ионизация «электронный удар» с энергией излучения 70 эВ. Индексы удерживания рассчитывали по смеси n-алканов C<sub>9</sub>-C<sub>21</sub>, анализ и обработка данных осуществлялись на основании баз данных NIST11 (19 мая 2011 г.), использовалось программное обеспечение MassHunter v. B.06.00 и NIST MS Search 2.0. Описания веществ были взяты из открытой базы данных PubChem, интернет-ресурса, расположенного по адресу <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>.

**Результаты и обсуждение.** В ходе исследования были получены образцы ЭМ трех видов полыни, при этом они различались по своим органолептическим и количественным характеристикам. Расчет содержания ЭМ в изучаемых образцах проводили без учета влажности, которая составила для травы полыни горькой, армянской и широколистной 59, 55, 66% соответственно.

ЭМ из травы полыни горькой представляло собой маслянистую жидкость специфического «полынного» запаха и, согласно литературе [7], нехарактерного красно-коричневого цвета. Содержание ЭМ, выделенного из свежей травы полыни горькой, составило 0.3%. Из полыни армянской было получено ЭМ, представляющее собой маслянистую жидкость желтовато-лимонного цвета, со специфическим приятным запахом, его количественное содержание составило 0.25%. ЭМ полыни широколистной имело неприятный запах и представляло собой маслянистую жидкость желтовато-коричневого цвета, количество полученного масла составило 0.13%.

Данные о качественном составе и количественной оценке компонентного состава ЭМ изучаемых видов полыни, полученные с помощью метода ГХ/МС, представлены в табл. (в ней не приведены данные о фракциях с нераспознанными компонентами и компонентами, находящимися в следовых количествах – менее 0.2%). В колонке, озаглавленной «С», приведено процентное содержание компонентов, выраженное в отношении площади пиков отдельных компонентов к суммарной площади пиков, в колонке «Q» – значения индекса достоверности соответствия спектров идентифицированных соединений библиотечным спектрам.

Компонентный состав эфирного масла *A. absinthium*, *A. armeniaca* и *A. latifolia*

Идентифицированный компонент	Формула	Содержание компонентов					
		<i>A. absinthium</i>		<i>A. armeniaca</i>		<i>A. latifolia</i>	
		C(%)	Q (%)	C(%)	Q(%)	C(%)	Q(%)
1	4	3	4	5	6	7	8
β-Мирцен	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	<b>23.24</b>	96.23	<b>10.28</b>	96.89	<b>5.97</b>	97.46
Валеранон (Нафталенон, октагидро-4а,8а-диметил-7-(1-метилэтил))	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	–	–	<b>12.33</b>	91.71	0.88	86.96
Линалоол (1,6-Октадиен-3-ол, 3,7-диметил)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	<b>10.63</b>	98.11	–	–	0.45	94.38
α-Оцимен (1,3,7-Октатриен, 3,7-диметил)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	–	–	<b>10.49</b>	95.79	<b>5.13</b>	96.17
Сабинен (Бицикло[3.1.0]гексан, 4-метил-1-(1-метилэтил))	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	–	–	<b>9.78</b>	92.29	2.91	93.08
Туйон	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	<b>8.51</b>	97.54	–	–	0.37	91.65
Цис-Туйон (Бицикло[3.1.0]гексан-3-он, 4-метил-1-(1-метилэтил))	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	<b>8.11</b>	97.82	–	–	–	–
Валрицин А (1-Нафталенол, 4-метокси)	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	–	–	4.68	82.73	<b>20.80</b>	77.1
транс-β-Оцимен	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	–	–	4.48	97.75	<b>5.02</b>	97.76
Изоэлеменцин	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	2.83	94.7
7-Метокси-1-нафтол	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	–	–	–	–	2.07	81.07
Терпинен-4-ол (3-Циклогексен-1-ол, 4-метил-1-(1-метилэтил)-, (R))	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	4.84	97.79	0.90	95.34	0.63	94.7
2-Туен (Бицикло[3.1.0]гекс-2-ен, 4-метил-1-(1-метилэтил))	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	4.0	92.64	<b>11.12</b>	87.67	1.01	91.88
3-Туен (Бицикло[3.1.0]гекс-2-ен, 2-метил-5-(1-метилэтил))	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.18	95.4	0.19	85.28	–	–
D-Лимонен	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	–	–	2.87	97.98	0.45	94.63
Спатуленол (1Н-Циклопроп[е]азулен-7-ол, декагидро-1,1,7-триметил-4-метил-ен)	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	–	–	2.41	96.95	1.30	88.77
Пачулол (Спирт пачули, 1,6-Метанофтаелен-1(2Н)-ол)	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	–	–	1.35	85.14	–	–
Геранил изобутират	C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	3.17	90.07	–	–	–	–
Нерил (S)-2-метилбутаноат	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	2.36	90.95	–	–	–	–
Кариофиллен	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1.61	98.05	0.73	97.35	0.27	93.12
γ-Терпинен	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.44	97.11	0.29	93.81	–	–
(+)-эпи-Бициклосесквифелландрен	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1.09	83.59	3.90	96.93	–	–
Лавандулил ацетат (4-Гексен-1-ол, 5-метил-2-(1-метилэтенил)-, ацетат)	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	1.03	94.27	–	–	–	–
Геранил ацетат	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.87	92.89	–	–	–	–
4-Гексен-1-ол, 5-метил-2-(1-метилэтенил)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.86	87.84	–	–	–	–
Линалил изобутират	C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	0.84	88.47	–	–	–	–
5-Гидроксиметил-1,1,4а-триметил-6-метил-декагидро-нафтаелен-2-ол	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	0.77	83.59	–	–	–	–
о-Цимен	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.73	94.25	0.72	96.28	0.32	94.23
α-Кадинол	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	–	–	0.68	84.17	–	–
β-Элемен (Циклогексан, 1-этенил-1-метил-2,4-бис(1-метилэтенил))	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	–	–	0.49	95.14	1.88	96.92
Эйкозатетраиноевая кислота	C <sub>20</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	–	–	–	–	1.22	79.49

1	2	3	4	5	6	7	8
3-Изопропил-6,7-диметилтрицикло[4.4.0.0(2,8)]декан-9,10-диол	$C_{15}H_{26}O_2$	–	–	–	–	1.20	88.69
Куркумен (Бензен, 1-(1,5-диметил-4-гексенил)-4-метил)	$C_{15}H_{22}$	–	–	–	–	1.08	94.63
Неролидол (1,6,10-Додекатриен-3-ол, 3,7,11-триметил)	$C_{15}H_{26}O$	–	–	–	–	1.04	90.98
6-Изопренил-4,8а-диметил-1,2,3,5,6,7,8,8а-октагидро-нафтаден-2-ол	$C_{15}H_{24}O$	–	–	–	–	0.98	82.23
δ-Кадиол	$C_{15}H_{26}O$	–	–	0.46	81.7	–	–
Муролан-3,9(11)-диен-10-перокси	$C_{15}H_{24}O_2$	–	–	0.41	83.27	–	–
γ-Элемен (Циклогексан, 1-этенил-1-метил-2-(1-метилэтенил)-4-(1-метилэтилдиен))	$C_{15}H_{24}$	–	–	0.31	89.16	–	–
Бутановой кислоты, 2-метил-, 3,7-диметил-2,6-октадениловый эфир	$C_{15}H_{26}O_2$	0.51	87.88	–	–	–	–
Кадина -1(10),4-диен (Нафтаден, 1,2,3,5,6,8а-гексагидро-4,7-диметил-1-(1-метилэтил)-, (1S-цис))	$C_{15}H_{24}$	0.41	94.02	0.38	91.84	–	–
Аллоаромадендрена оксид	$C_{15}H_{24}O$	0.40	83.08	–	–	–	–
цис-3-Гексенил-изовалерат	$C_{11}H_{20}O_2$	0.39	78.44	–	–	0.35	87.44
L-α-Терпиниол	$C_{15}H_{18}O$	0.31	88.58	–	–	–	–
Бутановой кислоты, 2-метил-, фенилметилловый эфир	$C_{12}H_{16}O_2$	0.28	73.52	–	–	–	–
3-Изогуйон (Бицикло[3.1.0] гексан-2-ол, 2-метил-5-(1-метилэтил))	$C_{15}H_{26}O_2$	0.28	88.92	–	–	–	–
Кариофиллен оксид	$C_{15}H_{24}O$	–	–	0.36	89.46	1.12	94
β-Спатуленол	$C_{15}H_{24}O$	–	–	–	–	1.08	83.4
α-Фарнесен (3,7,11-Триметил-1,3,6,10-додекатетраен)	$C_{15}H_{24}$	–	–	0.26	84.65	–	–
α-Пинен	$C_{10}H_{16}$	–	–	<b>12.36</b>	93.85	0.98	96.23
δ-Элемен (Циклогексен, 4-этенил-4-метил-3-(1-метилэтенил)-1-(1-метилэтил))	$C_{15}H_{24}$	–	–	–	–	0.80	91.99
Цедрен эпоксид	$C_{12}H_{24}O$	–	–	–	–	0.74	85.29
Болденон	$C_{19}H_{26}O_2$	–	–	–	–	0.68	79.06
2-Нафтаденол, 2,3,4,4а,5,6,7-октагидро-1,4а-диметил-7-(2-гидрокси-1-метилэтил)	$C_{15}H_{26}O_2$	–	–	–	–	0.54	81.38
Коримболон	$C_{15}H_{24}O$	–	–	–	–	0.43	80.85
1,3-Циклогексадиен, 1-метил-4-(1-метилэтил)	$C_{10}H_{16}$	0.25	92.82	–	–	–	–
Глобулол (1Н-Циклопроп[е]азулен-4-ол, декагидро-1,1,4,7-тетраметил)	$C_{15}H_{26}O$	–	–	0.24	85.32	–	–
Диэпицедрен-1-оксид	$C_{15}H_{24}O$	–	–	–	–	0.33	80.88
1-Додецен-3-ол	$C_{12}H_{24}O$	0.23	76.47	–	–	–	–
α-Фелландрен	$C_{10}H_{16}$	0.22	87.06	–	–	–	–
Вербенил ацетат (Бицикло[3.1.1]гепт-2-ен-4-ол, 2,6,6-триметил-, ацетат)	$C_{12}H_{18}O_2$	–	–	–	–	0.32	73.03
4-(3,3-Диметил-бут-1-инил)-4-гидрокси-2,6,6-триметилциклогекс-2-енон	$C_{15}H_{22}O_2$	–	–	–	–	0.30	77.43

1	2	3	4	5	6	7	8
Нео-алло-Оцимен ((4E,6Z)-2,6-димтеил-2,4,6-октатриен)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	–	–	–	–	0.27	92.83
Метеилсалицилат	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	0.24	84.3
4-Гексен-1-ол, (4E)-, ацетат	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	–	–	–	–	0.20	81.58
Хумулен	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	–	–	0.21	85.3	–	–
Леден оксид(II)	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	–	–	–	–	0.29	81.37
Уксусной кислоты, 2,6,6-триметил-3-метил-7-(3-оксобутилдиден)оксепан-2-иловый эфир	C <sub>16</sub> H <sub>24</sub> O <sub>4</sub>	–	–	–	–	0.28	80.16
2-[4-метил-6-(2,6,6-триметилциклогекс-1-енил)гекса-1,3,5-триенил]циклогекс-1-ен-1-карбоксальдегид	C <sub>23</sub> H <sub>32</sub> O	–	–	–	–	0.27	78.52

В составе ЭМ полыни горькой было обнаружено 32 соединения, из которых идентифицированы 28, при этом 16 из них можно отнести к «индивидуальным» (являющимися «отпечатками пальцев» для данного вида растительного объекта). В ЭМ полыни армянской присутствует 31 компонент, из которых идентифицированы 28 соединений (из них – 9 уникальных). В ЭМ полыни широколистной показано присутствие 68 компонентов, идентифицировано 40 различных соединений (из них – 22 уникальных).

Для уточнения хемосистематических отношений рассмотрим обнаруженные в результате анализа компоненты, являющиеся общими для всех трех рассматриваемых видов, или хотя бы для двух из них. Согласно принятой систематике [1], *A. absinthium* относится к секции *Absinthium* рода *Artemisia*, в то время как *A. armeniaca* и *A. latifolia* – к секции *Abrotanum*.

В результате сравнения мы наблюдаем, что пять компонентов (2-туен, о-цимен, β-мирцен, терпинен-4-ол и кариофиллен) присутствуют во всех трех изучаемых видах; в то время как десять компонентов (α-пинен, сабинен, транс-β-оцимен, α-оцимен, валрицин, спатуленол, D-лимонен, β-элемен, кариофиллен оксид, валеранон) свойственны только для близкородственных полыни армянской и широколистной; кроме того, полынь армянская и широколистная имеют по 4 и 3 эксклюзивных совпадения с составом полыни горькой, входящей в другую секцию рода (но концентрации этих компонентов, как правило, не велики). Анализ литературных данных в сопоставлении с результатами исследования показывает, что наи-

более характерными компонентами ЭМ для представителей секции *Abrotanum* (к которой помимо *A. armeniaca* и *A. latifolia* относятся также *A. pontica*, *A. gmelinii*, *A. santonifolia*, *A. annua* и др.) являются пинены, также часто встречаются цинеол, сабинен [7].

**Заключение.** Сравнение полученных результатов анализа с опубликованными в литературе данными [2–4] для полыни горькой и армянской показывает качественное совпадение по некоторым основным компонентам, в то же время их количественное содержание отличается, для *A. armeniaca* показано наличие веществ, ранее не обнаруженных.

Впервые полученные данные по анализу ЭМ полыни широколистной свидетельствуют о том, что его состав близок к составу ЭМ полыни армянской, собранной на той же территории, но обладает и специфическими компонентами.

## Литература

1. Леонова Т.Г. Полынь – *Artemisia* L. // Флора европейской части СССР. Т. 7. СПб., 1994. С. 150–174.
2. Mojarrab M. Chemical composition and general toxicity of essential oils extracted from the aerial parts of *Artemisia armeniaca* Lam. and *A. incana* (L.) Druce growing in Iran // Research in Pharmaceutical Sciences. Feb. 2013. Vol. 8(1). P. 65–69.
3. Kazemi M. Composition of the Volatile Oils of *Artemisia armeniaca* Lam. and *Artemisia splendens* Willd. from Iran // J. of Essential Oil Research. 2010. Vol. 22, Iss. 2. P. 126–128.

4. Suleimenov E.M. Essential oil from Kazakhstan *Artemisia* species // Chemistry of Natural Compounds. 2010. Vol. 46. № 1. P. 135–139.

5. Березовская Т.П. Полыни Сибири. Систематика, экология, химия, хемосистематика, перспективы использования. Новосибирск: Наука, 1991. 130 с.

6. Государственная фармакопея Российской Федерации. М., 2015. Т. 1. 1470 с.

7. Morteza-Semnani K. Essential Oils Composition of Iranian *Artemisia absinthium* L. and *Artemisia scoparia* Waldst. et Kit. // J. of Essential Oil Research. 2005. Vol. 17, Iss. 3. P. 321–322.

#### References

1. Leonova T.G. Wormwood plant *Artemisia* L. Flora Evropeyskoy chasti SSSR. Vol. 7. N.N. Tsevelev (ed.). St. Petersburg, Nauka, 1994, pp. 150–174.

2. Mojarrab M. Chemical composition and general toxicity of essential oils extracted from the aerial parts

of *Artemisia armeniaca* Lam. and *A. incana* (L.) Druce growing in Iran. Research in Pharmaceutical Sciences, 2013, vol. 8 (1). pp. 65–69.

3. Kazemi M. Composition of the volatile oils of *Artemisia armeniaca* Lam. and *Artemisia splendens* Willd. from Iran. Journal of Essential Oil Research, 2010, vol. 22, no. 2, pp. 126–128.

4. Suleimenov E.M. Essential oil from Kazakhstan *Artemisia* species. Chemistry of Natural Compounds, 2010, vol. 46, no. 1, pp. 135–139.

5. Berezovskaya T.P. Wormwoods of Siberia. Systematics, ecology, chemistry, chemosystematics, prospects for the use. Novosibirsk, Nauka, 1991. 130 p.

6. The State Pharmacopeia of the Russian Federation. 13th edition. Moscow, 2015, vol. 1. 1470 p.

7. Morteza-Semnani K. Essential oils composition of Iranian *Artemisia absinthium* L. and *Artemisia scoparia* Waldst. et Kit. Journal of Essential Oil Research, 2005, vol. 17, no. 3, pp. 321–322.



## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ESSENTIAL OILS OF *ARTEMISIA ABSINTHIUM*, *ARTEMISIA ARMENIACA* AND *ARTEMISIA LATIFOLIA*

© S.G. Rzhovsky, V.A. Agafonov, A.A. Maltseva, A.A. Verlina, A.V. Falaleev, Kh.S. Shikhaliev

Voronezh State University

1, Universitetskaya pl., 394018, Voronezh, Russian Federation

This paper presents the analysis of the essential oil composition of *Artemisia absinthium*, *Artemisia armeniaca* and *Artemisia latifolia* performed by chromatography-mass spectrometry. Wormwood is a promising source of bioactive substances, but not all of its species have been adequately studied yet. It is known that *A. armeniaca* extracts are biologically active and can be used in pharmaceuticals. This shows promise for studying the chemical composition of the species and those closely related to it. The pharmacopeian species *A. absinthium* is used in medicine and can serve for comparison of component concentrations. The research performed made it possible to identify major components in the essential oils of *A. absinthium*, *A. armeniaca* and *A. latifolia* and measure their quantitative contents. It has been detected that the essential oil of *A. absinthium* contains 32 components, with 28 compounds identified and 16 of them found to be specific to this plant; the essential oil of *A. armeniaca* contains 31 components, with 28 compounds identified and 9 of them found to be unique; the essential oil of *A. latifolia* shows the presence of 68 components, with 40 different compounds identified and 22 of them found to be unique. Based on the results of the analysis we carried out a chemosystematic comparison of the species. It has been revealed that five components (2-thujene, o-cymene,  $\beta$ -myrcene, terpinene-4-ol and caryophyllene) are present in all three species studied, whereas ten components ( $\alpha$ -pinene, sabinene, trans- $\beta$ -ocimene,  $\alpha$ -ocimene, walrycin, spathulenol, D-limonene,  $\beta$ -elemene, caryophyllene oxide, valeranon) are peculiar only to closely related *A. armeniaca* and *A. latifolia*; besides, *A. armeniaca* and *A. latifolia* have respectively 4 and 3 exclusive coincidences with the composition of *A. absinthium* that belongs to another section of the genus. The result of this research confirms that the most typical oil components for the representatives of the section *Abrotanum* are pinenes and also cineole and sabinene plus ocimene and spathulenol. Data obtained for the first time on the essential oil of *A. latifolia* suggest that its composition is close to that of *A. armeniaca* collected within the same area, and yet possessing specific components.

Key words: wormwood, essential oil, terpenoids, *Artemisia absinthium*, *Artemisia armeniaca*, *Artemisia latifolia*.



## ИНТРОДУКЦИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *WEIGELA* THUNB. И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ГОРОДСКОМ ОЗЕЛЕНЕНИИ

© Ф.К. Мурзабулатова, Н.В. Полякова

Посвящена результатам многолетних (11 лет) наблюдений за коллекцией вейгел, произрастающих в Ботаническом саду-институте Уфимского научного центра РАН.

Род Вейгела (*Weigela* Thunb.) из семейства Жимолостных (*Caprifoliaceae* Juss.) – красивоцветущие декоративные кустарники, использование которых в садово-парковом строительстве практически исключено в силу малоизученности их биологических особенностей. В уфимском ботаническом саду коллекция рода *Weigela* состоит из 5 видов и 5 культиваров: вейгела корейская (*Weigela coraeensis* Thunb.), вейгела цветущая (*Weigela florida* (Bunge) A.DC), вейгела цветущая ‘Candida’ (*Weigela* × *florida* (Bunge) A.DC ‘Candida’), вейгела цветущая ‘Nana Variegata’ (*Weigela* × *florida* (Bunge) A.DC ‘Nana Variegata’), вейгела цветущая ‘Rumba’ (*Weigela* × *florida* (Bunge) A.DC ‘Rumba’), вейгела гибридная ‘Bristol Ruby’ (*Weigela* × *hybrida* Jacq. ‘Bristol Ruby’), вейгела гибридная ‘Styriaca’ (*Weigela* × *hybrida* Jacq. ‘Styriaca’), вейгела японская (*Weigela japonica* Thunb.), вейгела Миддендорфа (*Weigela middendorffiana* (Trautv. et Mey.) C. Koch), вейгела ранняя (*Weigela praecox* (Lemoine) Bailey). Все они обладают высокодекоративными свойствами: оригинальное цветение, яркая окраска цветков и листьев, декоративная форма кроны, сравнительно высокая зимостойкость. Приведены результаты многолетних наблюдений за видами и сортами вейгел: данные по морфологическим показателям, фенологическим наблюдениям, зимостойкости, устойчивости к вредителям и болезням. Кроме того, предложены варианты использования изученных таксонов вейгелы в озеленении населенных пунктов региона и сопредельных территорий.

Ключевые слова: *Weigela* Thunb., декоративные кустарники, продолжительность цветения, зимостойкость.

**Введение.** Декоративные кустарники являются основным компонентом при озеленении. Огромное разнообразие видов, форм и сортов позволяет широко использовать их в зеленом строительстве. В коллекциях Уфимского ботанического сада на протяжении многих лет культивируется большое количество декоративных кустарников разного ранга, которые успешно акклиматизированы в условиях нашего региона [1–4]. Виды и сорта рода Вейгела отличаются высокодекоративными качествами, однако использование их в садово-парковом строительстве практически исключено. Цель данной работы – дать эколого-морфологическую характеристику акклиматизированным в условиях г. Уфы представителям рода Вейгела и предложить варианты использования их в озеленении.

**Объекты и методы.** Объектом исследования явилась коллекция рода *Weigela* Thunb. Ботанического сада-института г. Уфы, которая состоит из 5 видов и 5 культиваров. Фенологические наблюдения проводились за 10 таксонами, достигшими генеративного возраста: вейгела корейская (*Weigela coraeensis* Thunb.), вейгела цветущая (*Weigela florida* (Bunge) A.DC), вейгела цветущая ‘Candida’ (*Weigela* × *florida* (Bunge) A.DC ‘Candida’), вейгела цветущая ‘Nana Variegata’ (*Weigela* × *florida* (Bunge) A.DC ‘Nana Variegata’), вейгела цветущая ‘Rumba’ (*Weigela* × *florida* (Bunge) A.DC ‘Rumba’), вейгела гибридная ‘Bristol Ruby’ (*Weigela* × *hybrida* Jacq. ‘Bristol Ruby’), вейгела гибридная ‘Styriaca’ (*Weigela* × *hybrida* Jacq. ‘Styriaca’), вейгела японская (*Weigela japonica* Thunb.), вейгела Миддендор-

МУРЗАБУЛАТОВА Фануза Кавиевна, Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: murzabulatova@yandex.ru

ПОЛЯКОВА Наталья Викторовна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: barhan93@yandex.ru

фа (*Weigela middendorffiana* (Trautv. et Mey.) C. Koch), вейгела ранняя (*Weigela praecox* (Lemoine) Bailey).

Фенологические наблюдения проводили по общепринятой для ботанических садов методике [5], с 3-дневной повторностью в течение всего вегетационного периода в течение 11 лет (2005–2016 гг.). Изучены следующие важнейшие фенофазы: разverzание почек, начало роста побегов, начало цветения, окончание цветения, окончание роста побегов, начало одревеснения побегов, полное одревеснение побегов, осеннее окрашивание листьев, начало листопада. Зимостойкость оценивалась по методике ГБС: I – растения не обмерзают, II – обмерзает не более 50% длины однолетних побегов, III – обмерзает от 50 до 100% длины однолетних побегов, IV – обмерзают более старые побеги, V – обмерзает надземная часть до снегового покрова, VI – обмерзает вся надземная часть, VII – растения вымерзают целиком [6].

**Результаты и их обсуждение.** Представители рода Вейгела (*Weigela* Thunb.), относящиеся к семейству Жимолостных (*Caprifoliaceae* Juss.), являются листопадными красивоцветущими кустарниками. Листья простые, с пильчатыми краями, на коротких черешках, почти сидячие. Окраска листьев варьируется от желто-зеленого до пурпурного, у некоторых сортов листья зеленые с белым или кремовым окаймлением. Цветки одиночные или до 6 в соцветиях, расположенных на прошлогодних побегах в пазухах листьев и на концах коротких побегов. Окраска цветков от белого до темно-красного, также может меняться в течение сезона. Семенная коробочка деревянистая, удлиненная, раскрывающаяся двумя створками. Семена угловатые, мелкие, часто крылатые [7]. Свое название кустарник получил в честь немецкого ученого, профессора химии и ботаники Ц. Вейгеля (Ch. E. Weigel, 1748–1831). В природе насчитывается 15 видов этих листопадных кустарников; в основном они распространены в Восточной и Юго-Восточной Азии (от Южных Курил, берегов Охотского моря и Буреинского нагорья до юго-западного Китая) [8, 9]. В России, на юге Дальнего Востока, встречаются три вида: *W. middendorffiana* (Trautv. et Mey.) C. Koch, *W. praecox* (Lemoine) Bailey и *W. suavis* Kom.

Ниже представляем характеристику вейгел коллекции ботанического сада г. Уфы. В табл. представлены их основные морфологические характеристики и варианты применения в озеленении.

**Вейгела корейская** (*Weigela coraeensis* Thunb.). Листья эллиптические или широкоэллиптические, до 12 см длиной. Цветки на коротких боковых побегах, собранные в полузонтики. Вид распространен в Южной и Центральной Японии, растет по склонам долин.

Вид получен семенами из ботанического сада г. Воронежа в 2011 г. Растения в возрасте 5 лет обладают следующими характеристиками: высота 1.0 м, диаметр кроны 0.8 м. Начало разverzания почек в среднем отмечается 29 апреля, начало листопада – 18 октября. Цветение начинается в среднем 16 мая и заканчивается 23 мая. Ввиду того, что кусты еще молодые, продолжительность фазы цветения невелика – 6 дней. Длительность периода вегетации составляет 191 день. Зимостойкость составляет I балл. Повреждений болезнями и вредителями не наблюдалось.

**Вейгела цветущая** (*Weigela florida* (Bunge) A.DC) распространена в Северном Китае и на полуострове Корея. Листья эллиптические до продолговато-яйцевидных, иногда обратной-цевидные, до 10 см длиной. Основание листьев округлое или клиновидное, верхушка заострена, края пильчатые. Соцветие состоит от 2 до 6 цветков. Семенная коробочка голая.

Вид получен семенами из ботанического сада Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Растения в возрасте 4 лет обладают следующими характеристиками: высота 1.0 м, диаметр кроны 0.8 м. Разverzание почек в среднем начинается 29 апреля, начало листопада отмечается 25 октября. Зацветает в среднем 18 мая и заканчивает цвести 30 мая. Продолжительность фазы цветения также пока невелика (5 дней) по причине небольшого возраста. Длительность периода вегетации составляет 191 день. Зимостойкость – II балла. Повреждений болезнями и вредителями не наблюдалось.

**Вейгела цветущая 'Candida'** (*Weigela* × *florida* Jacq. 'Candida'), гибрид *W. florida* × *W. coraeensis*. Листья удлиненно-эллиптические, длиной до 10 см, верхушка заострена, края лис-

товой пластинки пыльчатые. Окраска листьев ярко-зеленая. Соцветие состоит из 2–4 собранных в пучок крупных цветков. Цветки чисто-белой окраски, которые сохраняют чистоту окраски и во время увядания.

Получена саженцами в 2011 г. из ботанического сада МГУ (Москва). Растения в возрасте 5 лет обладают следующими характеристиками: высота в среднем 0.7 м, диаметр кроны 0.5 м. Развержение почек в среднем начинается 29 мая, начало листопада отмечается 22 октября. Начало цветения в среднем – 16 июня, окончание – 18 сентября. Продолжительность фазы цветения – 94 дня. Длительность периода вегетации составляет 176 дней. Зимостойкость – I–II балла. Устойчив к болезням и вредителям

**Вейгела цветущая 'Nana Variegata'** (*Weigela florida* (Bunge) DC 'Nana Variegata'). Листья эллиптические, верхушка заостренная, края пыльчатые. Окраска листьев светло-зеленая, с желтоватой или кремовой каймой. Бутоны темно-розовые, цветки расположены на концах побегов по 2–3 шт. Цветение не обильное, зато очень декоративны форма кроны и пестрая листва.

Получена из Польши в 2001 г. саженцами. Растения в возрасте 12 лет имеют следующие параметры: высота в среднем 1.0 м, диаметр кроны 0.8 м. Начало разверзания почек в среднем отмечается 11 мая, начало листопада – 31 октября. Цветение начинается в среднем 16 июня, продолжительность – 28 дней. Длительность периода вегетации составляет 173 дня. Зимостойкость составляет V баллов, обмерзает каждый год до уровня снегового покрова, хорошо восстанавливается, цветки образуются только на нижних побегах. Повреждений болезнями и вредителями не наблюдалось.

**Вейгела цветущая 'Rumba'** (*Weigela florida* (Bunge) DC 'Rumba'). Один из старинных сортов, выведен в США в 1941 г. скрещиванием *W. florida* × *W. coraeensis*. Листья ярко-зеленые с красноватым оттенком, эллиптические, до 6 см длиной. Бутоны темно-красные, цветки красноватые, собраны в соцветия из 2–4 цветков. Характерной особенностью сорта является красноватый оттенок молодых побегов и листьев в сочетании с темно-красными бутонами.

Таблица

Морфологическая характеристика представителей рода *Weigela* в коллекции ботанического сада и возможность использования их в озеленении

Название таксона	Максимальная высота куста, м	Форма кроны	Окраска цветков	Использование в озеленении
<i>Weigela coraeensis</i>	5.0	раскидистая	розовая, карминовая	одиночные, групповые посадки, живая изгородь
<i>Weigela florida</i>	2.0	компактная	ярко-розовая	одиночные, групповые, опушенные посадки
<i>W. florida</i> 'Candida'	2.0	компактная	белая	одиночные, групповые, смешанные посадки
<i>W. florida</i> 'Nana Variegata'	1.5	компактная	розовая	рокарий, каменистые сады, смешанные посадки
<i>W. florida</i> 'Rumba'	3.0	компактная, округлая	темно-розовая	альпийский, вдоль дорожек, одиночные, групповые посадки
<i>W. × hybrid</i> 'Bristol Ruby'	3.0	компактная	рубиново-красная	одиночные, групповые посадки
<i>W. × hybrida</i> 'Stygiaca'	2.5	ажурная, раскидистая	розовая	одиночные, групповые посадки
<i>W. japonica</i>	3.0	компактная	розовая, карминовая	одиночные, групповые посадки
<i>W. middendorffiana</i>	1.5	плотная, компактная, округлая	желтая	одиночные, групповые, смешанные посадки
<i>W. praecox</i>	2.0	раскидистая	розовая	одиночные, групповые, опушенные посадки

В коллекции с 2001 г., получена из Польши саженцами. Растения в возрасте 13 лет обладают следующими характеристиками: высота в среднем 0.8 м, диаметр кроны 0.5 м. Разверзание почек в среднем начинается 2 мая, начало листопада – 28 октября. Зацветает в среднем 1 июня, продолжительность – 26 дней. Длительность периода вегетации составляет 179 дней. Зимостойкость составляет II балла, в малоснежные суровые зимы балл зимостойкости снижается до III. Повреждений болезнями и вредителями не зафиксировано.

**Вейгела гибридная ‘Bristol Ruby’** (*Weigela* × *hybrida* Jacq. ‘Bristol Ruby’). Листья овальные, с заостренной верхушкой, до 6 см длиной, ярко-зеленые. Бутоны темно-красные, цветки крупные, до 4 см в диаметре, собраны в соцветия по 3–4 шт. Данный сорт характеризуется необильным повторным цветением в конце лета.

В коллекции с 2001 г., получена из Польши саженцами. Растения в возрасте 13 лет обладают следующими характеристиками: высота в среднем 0.8 м, диаметр кроны 0.5 м. Разверзание почек в среднем начинается 2 мая, начало листопада – 28 октября. Зацветает в среднем 1 июня, продолжительность – 26 дней. Длительность периода вегетации составляет 179 дней. Зимостойкость II балла, в малоснежные суровые зимы балл зимостойкости снижается до III. Повреждений болезнями и вредителями не зафиксировано.

**Вейгела гибридная ‘Styriaca’** (*Weigela* × *hybrida* Jacq. ‘Styriaca’), (гибрид *W. coraensis* × *W. floribunda*). Листья овальные или эллиптические, до 6 см длиной, с заостренной верхушкой, светло-зеленой окраски. Бутоны ярко-розовые, цветки не крупные (до 2.5 см в диаметре), собраны в соцветия по 3–4 шт. Характерный признак данного сорта – веерообразная раскидистая крона и обильное цветение.

В коллекции ботанического сада с 2001 г.; получена саженцами из Польши. Растения в возрасте 7 лет имеют следующие параметры: высота в среднем 1.2 м, диаметр кроны 1.0 м. Разверзание почек в среднем начинается 2 мая, начало листопада отмечается 3 октября. Цветение начинается в среднем 27 мая и заканчивается 23 июня. Продолжительность фазы цветения

57 дней. Длительность периода вегетации составляет 181 день. Зимостойкость – I–II балла.

**Вейгела японская** (*Weigela japonica* Thunb.) в природе распространена в Японии. Форма листовой пластинки эллиптическая, яйцевидная или иногда обратнойяйцевидная, до 11 см длиной. Верхушка листьев заостренная, края городчато-пильчатые. Цветки собраны по 3, на коротких боковых побегах. Венчики колокольчато-воронковидные. Семенные коробочки голые, семена с узким крылом.

Вид получен семенами из ботанического сада Санкт-Петербургской лесотехнической академии в 2012 г. Растения в возрасте 4 лет обладают следующими характеристиками: высота 1.0 м, диаметр кроны 0.8 м. Разверзание почек в среднем начинается 29 апреля, начало листопада отмечается 15 октября. Зацветает в среднем 18 мая и завершает цветение 23 мая. Продолжительность фазы цветения – 5 дней (кусты пока еще молодые). Длительность периода вегетации составляет 158 дней. Зимостойкость I балл. Повреждений болезнями и вредителями не наблюдалось.

**Вейгела Миддендорфа** (*Weigela middendorffiana* (Trautv. et Mey.) C. Koch). Вид в природе встречается в Приморском крае, на Сахалине, в Северо-Восточном Китае, Японии. Молодые побеги голые или опушенные. Листья сидячие или почти сидячие, продолговато-яйцевидные до яйцевидно-ланцетных, заостренные или острые на верхушке, с клиновидным или округлым основанием. Цветки одиночные или по 2–6 на общих цветоносах в конечных соцветиях. Венчик колокольчато-воронковидный 3–4 см длиной, голый. Коробочки голые, семена крылатые.

В коллекции ботанического сада вид выращен из семян, привезенных с острова Кунашир в 1993 г. Растения в возрасте 18 лет обладают следующими характеристиками: высота в среднем 1.0 м, диаметр кроны 1.5 м. Разверзание почек в среднем начинается 29 мая, начало листопада отмечается 25 октября. Цветение начинается в среднем 16 мая и заканчивается 5 июня. Продолжительность фазы цветения 20 дней. Длительность периода вегетации составляет 179 дней. Зимостойкость – I–II балла.

**Вейгела ранняя** (*Weigela praecox* (Lemoine) Bailey). В естественных условиях рас-

тет по каменистым склонам и опушкам на юге Уссурийского края, в Китае и Северной Корее. Молодые побеги красноватые, голые или редко опушенные. Листья эллиптические или эллиптически-яйцевидные до обратнойцевидных, до 7 см длиной и до 4 см шириной. Верхушка листьев острая или коротко заостренная, основание клиновидное или округлое. Цветки поникающие, по 1–3 на коротких боковых побегах. Семенные коробочки цилиндрические, опушенные или голые.

Вид получен семенами из ботанического сада г. Владивостока в 1993 г. Растения в возрасте 19 лет обладают следующими характеристиками: высота 2.0 м, диаметр кроны 1.5 м. Разверзание почек в среднем начинается 28 апреля, начало листопада отмечается 25 октября. Цветение начинается в среднем 16 мая и заканчивается 7 июня. Продолжительность фазы цветения 22 дня. Длительность периода вегетации составляет 173 дня. Зимостойкость I балл. Повреждений болезнями и вредителями не наблюдалось.

Кроме вышеописанных, в коллекции ботанического сада в разные годы были интродуцированы другие виды вейгел: *Weigela florida* (Bunge) A.DC. 'Alexandra', *Weigela × hybrida* Jaeg. 'Eva Ratke', *Weigela venusta* (Stapf) L.H. Bailey, *Weigela × wagneri* (Kumenzow) L.H. Bailey 'Boskoop Glory'. Однако акклиматизацию в нашем регионе они не прошли, вымерзли в первую или вторую зиму.

Таким образом, виды и сорта рода *Weigela*, много лет культивируемые в Уфимском ботаническом саду и прошедшие акклиматизацию, обладают многими декоративными качествами, среди которых: оригинальное цветение, яркая окраска цветков и листьев, декоративная форма кроны, сравнительно высокая зимостойкость. Все перечисленные свойства позволяют широко использовать виды и сорта вейгел при составлении ландшафтных композиций для целей озеленения населенных пунктов Республики Башкортостан.

### Литература

1. Путенихин В.П., Никитина Л.С., Полякова Н.В., Сабирова И.Ф. Ассортимент красивоцветущих кустарников и деревянистых лиан ботанического сада в

г. Уфе (Башкирское Предуралье) // Овощеводство и плодоводство Урала: Мат-лы науч.-практ. конф., посв. 70-летию со дня рожд. засл. деят. науки РФ, проф. А.Н. Папонова. Пермь, 2001. С. 109–111.

2. Каталог растений Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН. Уфа: АН РБ, Гилем, 2012. 224 с.

3. Мурзабулатова Ф. К., Полякова Н. В., Малораспространенные декоративно-лиственные кустарники коллекции Уфимского ботанического сада // Живые и биокосные системы. 2015. № 13. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-13/article-5>.

4. Мурзабулатова Ф.К., Полякова Н.В. Интродукция малораспространенных декоративных красивоцветущих кустарников в Башкирском Предуралье // Растительный мир Азиатской России. 2016. № 2 (22). С. 73–83.

5. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М.: 1975. 78 с.

6. Лапин П.И., Александрова М.С., Бородин Н.А. и др. Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР. М.: Наука, 1975. С. 18–19.

7. Гусев Ю.Д. Род Вейгела – *Weigela Thunb.* // Деревья и кустарники СССР. М.; Л.: Наука, 1962. Т. VI. С. 301–309.

8. Куклина А.Г. Красивоцветущие кустарники (форзиция, вейгела, чубушник, дейция). М.: Издательский Дом МСП, 2004. 64 с.

9. Маляровская В.И., Карпун Ю.Н. Краткая историко-систематическая характеристика рода Вейгела (*Weigela Thunb.*) // Субтропическое и декоративное садоводство. Научные труды. Сочи, 2012. Вып. 47. С. 73–77.

### References

1. Putenikhin V.P., Nikitina L.S., Polyakova N.V., Sabirova I.F. Assortment of beautifully flowering shrubs and woody lianas in the Botanical Garden of the city of Ufa (Bashkir Cis-Urals). *Ovoshchevodstvo i plodovodstvo Urala: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu so dnya riozhdeniya zasluzhennogo deyatelya nauki RF, prof. A.N. Paponova*. Perm, 2001, pp. 109–111.

2. Putenikhin V.P., Abramova L.M., Vafin R.V., Zhigunov O.Yu., Mironova L.N., Polyakova N.V., Suleymanova Z.N., Shigapov Z.Kh. Catalogue of plants in the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific

Centre, RAS. Second edition, revised and amended. V.P. Putenikhin (ed.). Ufa, Gilem, 2012. 224 p.

3. Murzabulatova F.K., Polyakova N.V. Rare ornamental foliage shrubs in the collection of the Ufa Botanical Garden. *Zhivye i biokosnye sistemy*, 2015, no. 13. Available at: <http://www.jbks.ru/archive/issue-13/article-5>.

4. Murzabulatova F.K., Polyakova N.V. Introduction of rare ornamental shrubs in the Bashkir Cis-Urals. *Rastitelnyy mir Aziatskoy Rossii* 2016, no. 2 (22), pp. 73–83.

5. Phenological observation methods in botanical gardens of the USSR. Moscow, 1975. 78 p.

6. Lapin P.I., Aleksandrova M.S., Borodina N.A., Makarov S.N., Petrova I.P., Plotnikova L.S., Sidne-

va S.V., Stogova N.V., Shcherbatsevich V.D., Yakushina E.I. Woody plants in the Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR. Moscow, Nauka, 1975, pp. 18–19.

7. Gusev Yu.D. The genus *Weigela* Thunb. *Derevya i kustarniki SSSR*. Moscow, Leningrad, Nauka, 1962, vol. 6, pp. 301–309.

8. Kuklina A.G. Beautifully flowering shrubs (Forsythia, Weigela, Philadelphus, Deitzia). Moscow, Izdatelskiy Dom MSP, 2004. 64 p.

9. Malyarovskaya V.I., Karpun Yu.N. Brief historical and systemic characteristics of the genus *Weigela* Thunb. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo*. Nauchnye trudy. Sochi, 2012, no. 47, pp. 73–77.



## INTRODUCTION OF THE REPRESENTATIVES OF THE GENUS *WEIGELA* THUNB. AND PROSPECTS FOR THEIR USE IN URBAN GARDENING

© F.K. Murzabulatova, N.V. Polyakova

Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

This paper deals with the results of long-term (11 years) observations over the *Weigela* collection from the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Centre, RAS.

The representatives of the genus *Weigela* Thunb. of the family *Caprifoliaceae* Juss. are beautifully flowering ornamental shrubs almost ignored in amenity planting because of their poorly known biological features. In the Ufa Botanical Garden the *Weigela* collection includes 5 species and 5 cultivars. These are *Weigela coraeensis* Thunb., *Weigela florida* (Bunge) A.DC), *Weigela* × *florida* (Bunge) A.DC 'Candida', *Weigela* × *florida* (Bunge) A.DC 'Nana Variegata', *Weigela* × *florida* (Bunge) A.DC 'Rumba', *Weigela* × *hybrida* Jacq. 'Bristol Ruby', *Weigela* × *hybrida* Jacq. 'Styriaca', *Weigela japonica* Thunb., *Weigela middendorffiana* (Trautv. et Mey.) C. Koch) and *Weigela praecox* (Lemoine) Bailey. All of them have highly ornamental properties: peculiar flowering, bright colouring of flowers and leaves, ornamental crown and relatively high winter hardiness. The paper presents the results of our long-term observations over *Weigela* species and cultivars: data on morphological indicators, phenological observations, winter hardiness and resistance to pests and diseases. In addition, it offers some strategies for using the *Weigela* taxa under study in urban gardening throughout the region and adjacent areas.

Key words: *Weigela* Thunb., ornamental shrubs, flowering duration, winter hardiness.

**БИОЛОГИЯ ЦВЕТЕНИЯ И СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ  
КОЛОКОЛЬЧИКОВ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА**

© Л.Н. Миронова, И.Н. Аллаярова

Представлены результаты изучения биологии цветения и семенной продуктивности 15 видов рода *Campanula* L. в условиях Южного Урала. На базе Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН изучена структура соцветий колокольчиков и порядок распускания в них цветков. Исследована антропоэкология видов. Выявлено, что цветки колокольчиков актиноморфные, с двойным околоцветником, обоеполые, с нижней завязью, протерандричные, со вторичным преподношением пыльцы. Выделены 4 стадии цветения (стадия бутона, ранняя, средняя и поздняя), отличающиеся по морфофизиологическим характеристикам. Изучена жизнеспособность пыльцы. Выявлены оптимальные среды для прорастивания пыльцевых зерен в лабораторных условиях. Показано, что пыльца большинства изученных видов высокожизнеспособна, что является одним из факторов высокой результативности опыления. Выявлено, что семенная продуктивность колокольчиков высокая и составляет 11.2–97.3 тыс. семян на растение, что является показателем высокой жизнеспособности видов и перспективности их в культуре. Она обусловлена многоцветковым соцветием, многосемянной коробочкой, высокой жизнеспособностью пыльцы и эффективностью опыления. Изучена ультраструктура поверхности семян (цвет, форма, размеры). Показано, что длинночешуйчатую структуру имеют 10 видов, короткочешуйчатую – 2, короткобороздчатую – 2, равночешуйчатую – 1. Изученные признаки имеют таксономическое значение и могут быть использованы для определения видовой принадлежности колокольчиков. Выявлено, что семена большинства изученных видов характеризуются неглубоким физиологическим покоем. Исключением являются *C. carpatica* и *C. persicifolia*, семена которых не имеют периода покоя.

Ключевые слова: *Campanula* L., биология цветения, семенная продуктивность, жизнеспособность пыльцы, физиологический покой семян.

**Введение.** Использование растений естественной флоры в зеленом строительстве позволяет не только расширить региональный ассортимент цветочно-декоративных растений, но и является одним из путей изучения и сохранения биоразнообразия. Большой интерес в этом плане представляют дикорастущие виды рода *Campanula* L., значительная часть которых весьма декоративны, оригинальны, отличаются продолжительным периодом цветения и достаточно легко приспосабливаются к новым условиям произрастания. Представители данного рода имеют значение как медоносные, перганосные, кормовые и пищевые растения; применяются в народной медицине, могут служить сырьем для получения флавоноидных соединений [1, 2]. Однако в Башкортостане ассортимент используемых видов незначителен. Имеющиеся в литературе дан-

ные относятся в основном к систематике и морфологии рода, в то время как вопросы биологии цветения и семенная продуктивность изучены недостаточно, что препятствует распространению колокольчиков в культуре [1–4]. В этой связи актуально изучение биологических особенностей возможно большего количества таксонов колокольчика в условиях лесостепной зоны Республики Башкортостан с целью отбора наиболее перспективных для широкой культуры.

Многие виды (*C. carpatica* Jacq., *C. latifolia* L., *C. sibirica* L., *C. alliariifolia* Willd., *C. bononiensis* L., *C. glomerata* L., *C. persicifolia* L., *C. rapunculoides* L., *C. rotundifolia* L. и др.) включены в региональные сводки нуждающихся в охране растений. Размножение и введение в практику озеленения этих видов может служить одним из действенных мероприятий по их охране и воспроизводству, и, как след-

МИРОНОВА Людмила Николаевна – к.с.-х.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН

АЛЛАЯРОВА Ирина Нагимовна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: irina84\_10@mail.ru

стве, повлечь за собой снижение антропогенного пресса на природные ценопопуляции.

Цель настоящей работы – изучение особенностей биологии цветения и семенной продуктивности 15 видов рода *Campanula* L. при выращивании в Ботаническом саду-институте Уфимского научного центра РАН.

**Объекты и методы исследования.** Полевые и лабораторные исследования проводили на базе Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН (далее БСИ) в 2007–2016 гг.

Территория ботанического сада расположена в лесостепи на границе правобережья и левобережья Предуралья. В климатическом отношении район характеризуется большой амплитудой колебаний температуры в ее годовом ходе, неустойчивостью и недостатком атмосферных осадков, быстрым переходом от суровой зимы к жаркому лету, поздними весенними (2 июня) и ранними осенними (1 сентября) заморозками. Метеорологические условия в годы проведения исследований существенно отличались, что позволило объективно оценить изучаемый материал.

Объектами исследований являлись 3 двулетних вида колокольчика (*C. medium* L., *C. thyrsoides* L., *C. sibirica* L.) и 12 многолетних, из них *C. carpatica* Jacq., *C. persicifolia* L. представлены двумя формами (с синими и белыми цветками).

Семена колокольчика чесночницелистного *C. alliariifolia* Willd., к. среднего *C. medium* L., к. точечного *C. punctata* Lam., к. карпатского *C. carpatica* Jacq., *C. carpatica* Jacq. f. alba, к. тирсовидного *C. thyrsoides* L., к. Гроссека *C. grossekii* Neuff., к. Такесима *C. takesimana* Nakai были получены по делектусу в 1995–2007 гг. из Германии, Чехии, Польши. Остальные виды (к. болонский *C. bononiensis* L., к. скученный *C. glomerata* L., к. широколистный *C. latifolia* L., к. персиколистный *C. persicifolia* L., *C. persicifolia* L. f. alba, к. рапунцеливидный *C. rapunculoides* L., к. сибирский *C. sibirica* L., к. круглолистный *C. rotundifolia* L., к. крапиволистный *C. trachelium* L.) были интродуцированы в БСИ живыми растениями и семенами из естественной флоры разных районов Башкортостана в 2005–2007 гг.

Морфологию соцветий изучали с использованием методических разработок А.А. Федоро-

ва, З.Т. Артюшенко [5]. Морфология плодов и семян описана по методикам Н.Н. Каден, С.А. Смирновой [6]. Семенную продуктивность подсчитывали по методике И.В. Вайнагия [7]. Определение жизнеспособности пыльцы проводили по методике В.П. Размологова [8].

**Результаты и их обсуждение.** По литературным данным, род *Campanula* характеризуется большим разнообразием в строении соцветий и сложным порядком распускания цветков, которые затрудняют их классификацию [1]. В условиях культуры в лесостепной зоне Башкирского Предуралья для всех изученных видов характерны закрытые соцветия, исключением является *C. persicifolia*, у которого в популяции 6.6% особей имеют открытые соцветия.

Для большинства колокольчиков в средневозрастном генеративном состоянии характерны сложные соцветия: метелка – *C. alliariifolia*, *C. grossekii*, *C. trachelium*, *C. persicifolia*, *C. rotundifolia*, *C. punctata*, *C. takesimana*, *C. sibirica*, *C. medium*, *C. rapunculoides*; колосовидная кисть – *C. bononiensis*, *C. latifolia*; сложный колос – *C. thyrsoides*; головка – *C. glomerata*. Для *C. carpatica* характерны только простые соцветия.

В соцветиях *C. carpatica*, *C. glomerata*, *C. grossekii*, *C. persicifolia*, *C. punctata*, *C. rotundifolia*, *C. takesimana*, *C. trachelium* и *C. sibirica* первым всегда раскрывается терминальный цветок, вторым – базальный или цветок, расположенный в нижней трети соцветия. У *C. latifolia*, *C. alliariifolia*, *C. bononiensis*, *C. medium*, *C. rapunculoides*, *C. thyrsoides* в соцветиях первым раскрывается базальный цветок или цветок, расположенный в нижней трети соцветия. Дальнейшее направление раскрытия акропетальное, если соцветие малоцветковое или дивергентное, если соцветие многоцветковое. В элементарных соцветиях терминальный цветок всегда несколько опережает в цветении 2–4 ниже расположенных цветка.

Изучение структуры соцветий и порядка распускания в них цветков позволило отнести соцветия *C. carpatica*, *C. glomerata*, *C. grossekii*, *C. persicifolia*, *C. punctata*, *C. rotundifolia*, *C. takesimana*, *C. trachelium* и *C. sibirica* к тирсам; соцветия *C. latifolia*, *C. alliariifolia*,



*C. bononiensis*, *C. medium*, *C. rapunculoides*, *C. thyrsoides* – к смешанным.

Цветки в роде *Campanula* – актиноморфные, с двойным околоцветником, обоеполые, с нижней завязью, протерандричные, со вторичным преподношением пыльцы. Для *C. alliariifolia*, *C. medium*, *C. sibirica* характерно наличие чашечки с придатком, у остальных видов чашечка без придатков. Венчик сростнолепестный, пятилопастной, разнообразной формы: бокальчато-колокольчатый (*C. alliariifolia*, *C. punctata*, *C. takesimana*, *C. medium*), колокольчатый (*C. trachelium*, *C. grossekii*, *C. rapunculoides*, *C. rotundifolia*), воронковидный (*C. bononiensis*, *C. latifolia*, *C. thyrsoides*), ширококолокольчатый (*C. carpatica*, *C. persicifolia*), узкоколокольчатый (*C. glomerata*, *C. sibirica*). Андроцей образован пятью свободными, обычно несколько расширенными тычиночными нитями. Гинецей ценокарпный. Количество плодолистиков – 3 или 5. Среди изучаемых колокольчиков столбик выставляющийся отмечен только у *C. thyrsoides*, у остальных видов столбик среднего размера (относительно венчика). Выделены 4 стадии цветения (стадия бутона, ранняя, средняя и поздняя), отличающиеся по морфофизиологическим характеристикам.

Колокольчики являются протерандричными растениями. По нашим наблюдениям, пыльца откладывается на столбик в уже окрашенном, но совершенно плотно закрытом бутоне. В начинающем раскрываться цветке тычинки уже лишены пыльцы, отклонены в сторону от столбика; столбик же густо покрыт пыльцой; рыльца сомкнуты. На второй день цветок раскрыт полностью, рыльца начинают разворачиваться. В таком состоянии цветок остается в течение 2–4-х дней, в зависимости от особенностей вида, причем в это время пыльца со столбика постепенно уносится насекомыми; пыльники совершенно засыхают, а рыльца полностью разворачиваются и концы их закручиваются.

На этом кончается первая фаза цветения. На 3–5-й день жизни цветка щели между основаниями тычиночных нитей начинают немного приоткрываться; у *C. bononiensis*, *C. grossekii*, *C. trachelium*, *C. rotundifolia*, *C. latifolia*, *C. rapunculoides*, *C. alliariifolia*, *C. medium*, *C. thyrsoides* цветки постепенно отклоняются и располагаются почти перпендикулярно к стеблю.

У *C. punctata*, *C. takesimana* бутоны поникающие, по мере зацветания положение не меняют. У *C. glomerata* положение бутона, соответственно, и цветка, зависит от их расположения в соцветии (головка). Цветки *C. persicifolia* и *C. carpatica* не отклоняются (направлены вверх) или отклоняются незначительно. Обычно на 5–7-й день жизни цветка происходит нанесение насекомыми пыльцы на рыльце, после чего цветок завядает. Околоцветник буреет, засыхает; начинает развиваться завязь. Полученные нами данные подтверждаются другими авторами [1, 9].

Опылителями являются главным образом пчелы, а также различные мелкие мухи, причем в первой фазе цветения больше участвуют мухи, а во второй – пчелы [10].

Выявлено, что для определения жизнеспособности пыльцы *C. carpatica*, *C. punctata*, *C. rapunculoides*, *C. sibirica* оптимальной средой для проращивания является 5%-й раствор сахарозы; для *C. glomerata* – 15%-й; для *C. alliariifolia*, *C. grossekii*, *C. latifolia*, *C. thyrsoides* – 25%-й. Пыльца большинства изученных видов высокожизнеспособна (от 41.6 у *C. rapunculoides* до 100% у *C. punctata* и *C. sibirica*), что является одним из факторов высокой результативности опыления. Исключение составляют *C. trachelium*, *C. takesimana*, *C. rotundifolia* и *C. persicifolia*, у которых жизнеспособность пыльцы составляет не более 5.1–16.7%.

Большинство изученных колокольчиков имеют высокую семенную продуктивность (табл.), которая обусловлена прежде всего их биоморфологическими особенностями: многоцветковым соцветием, многосеменной коробочкой, а также высокой жизнеспособностью пыльцы. Самой высокой семенной продуктивностью особей характеризуются *C. persicifolia* (97.3±4.8 тыс. шт. на растение), *C. grossekii* (74.5±3.2), *C. rapunculoides* (67.4±3.2), *C. alliariifolia* (60.2±3.0).

Высокие значения семенной продуктивности свидетельствуют о высоком уровне жизнеспособности интродуцированных видов и перспективности их в культуре [10].

Плод у представителей рода *Campanula* – сухая ценокарпная 3- или 5-гнездная многосеменная коробочка, формирующаяся из нижней завязи, вскрывающаяся подковообразно у

*C. carpatica* и *C. persicifolia* на верхушке, остальных видов – у основания. Диссеминация происходит по типу баллисто-анемохории.

На основе микроскопического изучения ультраструктуры поверхности семян колокольчиков, выявлено, что длинноячеистую поверхность имеют *C. punctata*, *C. latifolia*, *C. medium*, *C. rapunculoides*, *C. bononiensis*, *C. glomerata*, *C. alliariifolia*, *C. grossekii*, *C. takesimana*, *C. trachelium*; короткоячеистую – *C. rotundifolia*, *C. persicifolia*; короткобороздчатую – *C. sibirica*, *C. thyrsoides*; равноячеистую – *C. carpatica*. Следовательно, для большинства семян колокольчиков коллекции БСИ характерна длинноячеистая структура поверхности.

Масса 1000 шт. семян варьирует от 0.04 (*C. sibirica*) до 0.32 г (*C. latifolia*). Серо-коричневую окраску имеют 10 видов, 5 – коричневую разных оттенков. Эллиптическая форма семян характерна для *C. bononiensis*, *C. glomerata*, *C. grossekii*, *C. persicifolia*, *C. takesimana*; продолговатая – для *C. carpatica*, *C. rotundifolia*, *C. trachelium*; яйцевидная – для *C. latifolia*, *C. rapunculoides*, *C. thyrsoides*; узкояйцевидная – для *C. alliariifolia*, *C. medium*,

*C. sibirica* (рис.) Также для семян изученных видов и форм характерно наличие блеска, «крыльев» и «носики», за исключением *C. carpatica*, у которого «крылья» и «носики» не выражены, и *C. thyrsoides*, у которого отсутствуют «крылья». Изученные признаки имеют таксономическое значение и могут быть использованы для определения видовой принадлежности колокольчиков.

Семена изученных видов колокольчика имеют разную глубину физиологического покоя. Для ее определения семена собственной репродукции проращивали в лабораторных условиях в разные сроки. Определяли всхожесть и энергию прорастания семян сразу после сбора, а также через 2, 4, 6 и 8 месяцев. Свежесобранные семена всех изучаемых видов частично прорастали сразу же после сбора. При этом показатели всхожести были относительно невысокими и колебались от 4–8% (*C. punctata*, *C. rapunculoides*) до 40–48% (*C. medium*, *C. latifolia*). За 8 месяцев хранения всхожесть семян постепенно повышалась и достигла 52–78% у *C. punctata*, *C. trachelium* и 98–100% у *C. alliariifolia*, *C. bononiensis*, *C. medium*, *C. latifolia*, *C. rapunculoides*, *C. rotundifolia*.

Т а б л и ц а

Семенная продуктивность колокольчиков в условиях БСИ УНЦ РАН

Вид	Среднее количество коробочек на побеге, шт.	Среднее количество семян в коробочке, шт.	Семенная продуктивность побеге, тыс. шт.	Семенная продуктивность растения, тыс. шт.	Масса 1000 шт. семян, г	Период созревания семян, в сут.
<i>C. alliariifolia</i>	61.1±3.9	109.3±15.3	6.5±0.4	60.2±3.0	0.23±0.02	51±6
<i>C. bononiensis</i>	93.4±4.6	76.7±17.3	7.5±0.4	45.0±2.6	0.14±0.02	41±3
<i>C. carpatica</i>	6.4±2.5	188.7±14.6	1.2±0.1	24.5±1.1	0.08±0.01	26±2
<i>C. carpatica</i> f. alba	6.4±2.4	186.8±14.4	1.2±0.1	24.8±1.2	0.08±0.01	26±3
<i>C. glomerata</i>	54.0±2.3	67.2±25.2	3.6±0.5	25.0±1.1	0.13±0.01	36±4
<i>C. grossekii</i>	38.9±6.9	158.3±32.6	6.2±0.2	74.5±3.2	0.19±0.01	31±3
<i>C. latifolia</i>	32.3±8.3	136.5±28.2	4.4±0.2	29.5±1.3	0.32±0.09	29±4
<i>C. medium</i>	34.3±8.6	203.8±51.3	7.0±0.4	19.5±0.8	0.28±0.04	38±5
<i>C. persicifolia</i>	30.1±4.9	317.9±43.4	9.6±0.2	96.6±4.5	0.06±0.01	29±4
<i>C. persicifolia</i> f. alba	31.5±4.6	325.3±43.4	10.0±0.3	97.3±4.8	0.05±0.00	29±3
<i>C. punctata</i>	30.6±8.6	106.0±24.5	3.2±0.2	14.9±0.6	0.07±0.02	37±2
<i>C. rapunculoides</i>	66.3±3.3	158.9±32.4	10.5±0.5	67.4±3.2	0.17±0.01	29±3
<i>C. rotundifolia</i>	28.5±8.5	70.0±11.3	2.0±0.1	24.3±1.2	0.06±0.01	27±2
<i>C. sibirica</i>	101.5±5.1	110.5±16.9	11.2±0.5	11.2±0.6	0.04±0.01	29±3
<i>C. takesimana</i>	27.4±1.2	127.2±18.0	3.4±0.1	23.0±1.1	0.07±0.02	39±3
<i>C. thyrsoides</i>	74.1±3.3	117.8±14.6	8.7±0.1	13.1±0.6	0.08±0.01	38±4
<i>C. trachelium</i>	55.7±2.8	194.3±37.6	10.8±0.5	55.2±2.8	0.16±0.01	35±3

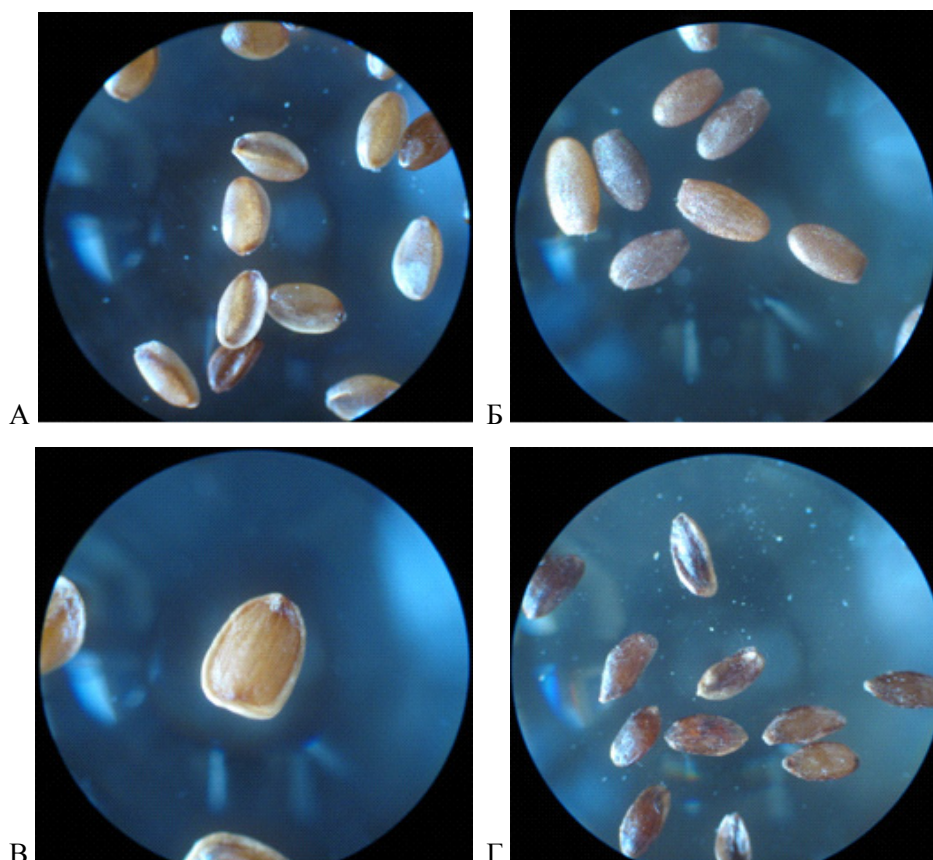


Рис. Разные формы семян колокольчика: А – эллиптическая (*C. persicifolia*), Б – продолговатая (*C. carpatica*), В – яйцевидная (*C. rapunculoides*), Г – узкояйцевидная (*C. sibirica*)

Следовательно, семена изученных видов характеризуются неглубоким физиологическим покоем. Исключением являются *C. carpatica* и *C. persicifolia*, у которых всхожесть свежесобранных семян сразу же превышала 73%, а после 2-х месяцев хранения достигала 99–100%. В связи с вышеизложенным можно говорить о том, что семена (или большая часть семян) *C. carpatica* и *C. persicifolia* не имеют периода покоя.

**Выводы.** 1. Цветки в роде *Campanula* – актиноморфные, с двойным околоцветником, обоеполые, с нижней завязью, протерандричные, со вторичным преподношением пыльцы. Выделены 4 стадии цветения (стадия бутона, ранняя, средняя и поздняя), отличающиеся по морфо-физиологическим характеристикам.

2. Семенная продуктивность колокольчиков высокая и составляет 11,2–97,3 тыс. семян на растение, что является показателем высокой жизнеспособности видов. Она обусловлена многоцветковым соцветием, многосемянной коробочкой, высокой жизнеспособностью пыльцы и эффективностью опыления.

Семена большинства изученных видов характеризуются неглубоким физиологическим покоем. Исключением являются *C. carpatica* и *C. persicifolia*, семена которых не имеют периода покоя.

#### Литература

1. Фомина Т.И. Биология некоторых видов рода *Campanula* L. в условиях культуры: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2002. 18 с.
2. Аллаярова И.Н., Миронова Л.Н. Биологические особенности представителей рода *Campanula* L. при интродукции в Башкирском Предуралье // Вестник ИРГСХА. 2011. Т. 2, № 44. С. 14–20.
3. Аллаярова И.Н., Миронова Л.Н. Колокольчики в Башкирском Предуралье: интродукция, онтогенез и жизненные формы // Известия Уфимского научного центра РАН. 2012. № 3. С. 47–52.
4. Миронова Л.Н., Реут А.А., Шипаева Г.В., Шайбаков А.Ф. Использование интродуцентов декоративных цветочных культур в озеленении городов Башкирии // Вестник ИРГСХА. 2011. Т. 3, № 44. С. 123–129.
5. Федоров А.А., Артюшенко З.Т. Атлас по описательной морфологии высших растений. Соцветие. Л.: Наука, 1979. 296 с.

6. Каден Н.Н., Смирнова С.А. К методике составления карпологических описаний. Составление определителей растений по плодам и семенам. Киев: Наук. думка, 1974. С. 63.

7. Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботанический журнал. 1974. Т. 59, № 6. С. 826–831.

8. Размологов В.П. Культура пыльников пиона *in vitro* // Бюлл. ГБС РАН. 1982. Вып. 125. С. 91–92.

9. Викторов В.П. Род колокольчик. Декоративные и медоносные растения, нуждающиеся в охране // Биол. флора Моск. области. 2000. Вып. 14. С. 181–211.

10. Аллаярова И.Н., Миронова Л.Н. Некоторые виды колокольчика в условиях культуры // Бюлл. Бот. сада Саратов. гос. унив-та. 2009. Вып. 8. С. 121–127.

life forms. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2012, no. 3, pp. 47–52.

4. Mironova L.N., Reut A.A., Shipaeva G.V., Shaybakov A.F. The use of non-indigenous species of ornamental flowers in urban gardening of Bashkiria. *Vestnik Irkutskoy gosudarstvennoy selskokhozyastvennoy akademii*, 2011, vol. 3, no. 4, pp. 123–129.

5. Fedorov A.A., Artyushenko Z.N. Atlas of higher plant descriptive morphology. Inflorescence. Leningrad, Nauka, 1979. 296 p.

6. Kaden N.N., Smirnova S.A. On the methods for preparing carpological descriptions. *Sostavlenie opredeliteley rasteniy po plodam i semenam (metodicheskie razrabotki)*. Kiev, Naukova dumka, 1974. 63 p.

7. Vaynagiy I.V. On the methods for investigating plant seed productivity. *Botanicheskiy zhurnal*, 1974, vol. 59, no. 6, pp. 826–831.

8. Razmologov V.P. Peony anther culture *in vitro*. *Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada RAN*, 1982, no. 125, pp. 91–92.

9. Viktorov V.P. The genus *Campanula*. Ornamental i nectariferous plants needed to be protected. *Biologicheskaya flora Moskovskoy oblasti*, 2000, no. 14, pp. 181–211.

10. Allayarova I.N., Mironova L.N. Some *Campanula* species under cultivation conditions. *Byulleten Botanicheskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta*. Saratov, 2009, no. 8, pp. 121–127.

### References

1. Fomina T.I. Biology of some *Campanula* L. species under cultivation conditions: PhD Thesis in Biology. Novosibirsk, 2002. 18 p.

2. Allayarova I.N., Mironova L.N. Biological features of *Campanula* genus representatives under introduction in the Bashkir Cis-Urals. *Vestnik Irkutskoy gosudarstvennoy selskokhozyastvennoy akademii*, 2011, vol. 2, no. 44, pp. 14–20.

3. Allayarova I.N., Mironova L.N. *Campanula* species in the Bashkir Cis-Urals: Introduction, ontogenesis and



## BLOSSOM BIOLOGY AND SEED PRODUCTIVITY OF *CAMPANULA* SPECIES UNDER CONDITIONS OF THE SOUTH URALS

© L.N. Mironova, I.N. Allayarova

Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

The article presents the results of studying blossom biology and seed productivity of 15 species of the genus *Campanula* L. under conditions of the South Urals. Their inflorescence structure and flower opening sequence have been studied on the basis of the Botanical Garden-Institute (Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences). The anthecology of the species reveals that flowers of the *Campanula* species are actinomorphic, furnished with a double perianth, bisexual with an inferior ovary, and proterandrous with secondary pollen presentation. Four blossom phases (budding, early, middle and late) that differ by their morphophysiological characteristics have been determined. Pollen viability has been studied, and the optimal growing media for pollen germination under laboratory conditions have been identified. It is shown that pollen in the majority of the species under investigation is highly viable, that being one of the factors favourable for their high pollination effectiveness. The seed productivity of *Campanula* L. species is high and comprises 11.2 to 97.3 thousand seeds per plant. This is indicative of high vitality of the species and their prospects for cultivation because of a large number of flowers per inflorescence, polyspermous pod, high pollen viability and pollination effectiveness. The seed surface (colour, shape, size) has been studied. The texture is as follows: long-alveolate (10 species), short-alveolate (2 species), short-grooved (2 species) and uniformly alveolate (1 species). These traits are taxonomically relevant and can be used to identify the species affinity of *Campanula* plants. It is revealed that seeds of the majority of the species under investigation are characterized by non-deep physiological dormancy except for *C. persicifolia* and *C. carpatica* with no dormancy period.

Key words: *Campanula* L., blossom biology, seed productivity, pollen viability, seed physiological dormancy.

## БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА В НЕКОТОРЫХ ВИДАХ РОДА *ALLIUM* L. В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ

© Л.А. Тухватуллина, Л.М. Абрамова

Приведены сведения по содержанию биологически активных веществ в листьях *A. victorialis* и *A. ursinum* в условиях культуры. В листьях исследуемых луков обнаружено 74.5–86.2 мг аскорбиновой кислоты, 28.0–31.0 мг/кг каротина, 20.06–12.37% протеина, 4.6–6.5% сахара, 0.37–0.44% азота, 19.49–20.93% сухого вещества, 2.79–3.23% клетчатки, 4.2–5.5% золы. По содержанию витамина С, каротина сравнительно высоким накоплением отличается *A. ursinum*; по содержанию сахара, золы и протеина – *A. victorialis*. По содержанию сухого вещества, азота и клетчатки различия невелики. Из макроэлементов преобладает калий, его количество в воздушно-сухой навеске колеблется от 1.85 до 2.21%, низким содержанием отличается кальций – от 0.08 до 0.10. Микроэлементы, содержащиеся в листьях исследуемых луков, количественно располагаются в следующем убывающем порядке: железо (87–332 мг/кг); цинк (99–274 мг/кг); марганец (48.8–62.6 мг/кг); медь (4.6–5.8 мг/кг); кобальт (0.87–0.95 мг/кг) в воздушно-сухой массе. Наибольшее количество железа, цинка, кобальта накапливается в листьях *A. victorialis*. По содержанию меди и марганца лидирует *A. ursinum*. В листьях исследуемых луков выявлено высокое содержание витамина С, каротина, протеина, сахара, макро- и микроэлементов и других биологически активных веществ, свидетельствующих о питательной и витаминной ценности этих луков и перспективности их для возделывания в культуре.

Ключевые слова: род *Allium* L., биохимический состав, витамин С, макро- и микроэлементы.

Интродукция видов рода *Allium* L., известного многими полезными растениями, – овощными, лекарственными, декоративными и кормовыми, а также редкими видами, нуждающимися в охране, является актуальной.

Еще в древности многие виды дикорастущих луков использовались в китайской медицине как в пищу, так и в лекарственных целях. В русской народной медицине лук применяли для лечения желудочно-сердечных заболеваний. Важным этапом работы при интродукции дикорастущих полезных растений является установление их питательной или декоративной ценности. Потребительская их ценность как пищевых, лекарственных, кормовых растений определяется специфическим, качественным и количественным составом химических веществ.

Биохимическому составу луков (особенно окультуренных) как важных овощных растений в литературе уделяется большое внимание. Авторы отмечают, что виды рода *Allium* L. содержат значительное количество белков, жиров, сахаров, каротина, витаминов А, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, РР, С, стероид-

ных и флавоноидных глюкозидов, фитонцидов, важных для человека незаменимых аминокислот, а также минеральных солей. С помощью спектрального анализа установлено, что в золе лука содержится 18 химических элементов (алюминий, медь, кремний, цинк, марганец, свинец, титан и др.).

Дикорастущие луки в условиях интродукции характеризуются высоким уровнем накопления биологически активных соединений, что при способности отрастать вслед за таянием снега делает их особенно ценными овощными растениями. Листья дикорастущих луков идут на срез в первые весенние дни. Достаточно 5 г зеленых листьев, чтобы покрыть потребность человека в витамине С [1–5].

Из дикорастущих луков к числу признанных лекарственных растений относятся *A. victorialis* и *A. ursinum*, они обладают сильными антибактериальными свойствами. *A. victorialis* и *A. ursinum* – два близких ботанических вида, объединены под общим названием «черемша». Оба вида имеют обширные ареалы, которые в значительной степени налагаются друг на друга, в частности в районах

ТУХВАТУЛЛИНА Ленвера Ахнафовна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: lenveral@yandex.ru

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

Кавказа и Восточного Закавказья. В природе черемша растет в лесах темнохвойного таежного комплекса, в сырых широколиственных лесах, встречается в сосновых лесах, обычно производных от темнохвойных. Оба вида произрастают преимущественно на серых лесных и дерново-подзолистых суглинистых, слабокислых (рН от 5 до 6) почвах, достаточно обеспеченных элементами питания.

В районах Западной и Восточной Сибири, а также на Дальнем Востоке черемша является одним из излюбленных дикорастущих растений и заготавливается населением в больших количествах. В пищу употребляют молодые побеги и листья в свежем, соленом, маринованном, квашеном и сушеном виде. Вследствие этого природные запасы черемши неуклонно сокращаются.

В народной медицине черемше издавна применяли для повышения аппетита, при лихорадке, для лечения цинги, как противоглистное средство и наружно – при ревматизме. Не забыта она и в современной медицине. Благодаря антибиотическим и витаминным свойствам черемша используется, в частности, как средство, регулирующее работу желудка при лечении колитов. Установлено также, что черемша оказывает тонизирующее и слабое мочегонное действие.

В данном сообщении приведены сведения по содержанию биологически активных веществ в листьях *A. victorialis* и *A. ursinum* в условиях культуры.

Работа проводилась в Ботаническом саду-институте УНЦ РАН (северная лесостепь, среднепогодные метеорологические данные сле-

дующие: сумма осадков 459 мм, температура воздуха +2,6°C, вегетационный период 140 дней, почвы серые лесные).

*A. ursinum* и *A. victorialis* в ботанический сад поступили в 2009 г. из Сыктывкара (живыми растениями).

Биохимические анализы выполнены в лабораториях отдела химического анализа кормов растениеводческой и пищевой продукции в ФГУ «Центр агрохимической службы «Башкирский» на инфракрасном компьютеризированном спектрофотометре PSCO/IBM PC 4250 (Индия). Количественное содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) проводилось по общепринятой методике [6].

Проведенное изучение биологических особенностей *A. ursinum* и *A. victorialis* показало, что исследованные виды проходят все стадии жизненного цикла, устойчивы в культуре и перспективны для выращивания в нашей зоне [7]. Содержание аскорбиновой кислоты – важнейший показатель практической ценности дикорастущих луков как пищевых и лекарственных растений. По табл. 1 видно, что в листьях исследуемых луков обнаружено 74.5–86.2 мг % аскорбиновой кислоты, 28.0–31.0 мг/кг каротина, 20.06–12.37% протеина, 4.6–6.5% сахара, 0.37–0.44% азота, 19.49–20.93% сухого вещества, 2.79–3.23% клетчатки, 4.2–5.5% золы.

По содержанию витамина С, каротина сравнительно высоким накоплением отличается *A. ursinum*; по содержанию сахара, золы и протеина – *A. victorialis*. По содержанию сухого вещества, азота и клетчатки различия невелики.

Т а б л и ц а 1

Биохимический состав листьев исследуемых луков в (на воздушно-сухую массу, аскорбиновая кислота в расчете на сырую массу)

Вид	Сухое в-во	Азот	Клетчатка	Протеин	Зола	Сахар	Каротин	Аскорб. к-та
	%						мг/кг	мг %
<i>A. victorialis</i>	19.49	0.37	2.79	20.06	5.5	6.5	28.0	74.5
<i>A. ursinum</i>	20.93	0.44	3.23	12.37	4.2	4.6	31.0	86.2

Т а б л и ц а 2

Содержание минеральных веществ в листьях исследуемых луков

Вид	Ca	P	K	Mg	S	Zn	Fe	Cu	Mn	Co
	%					мг/кг				
<i>A. victorialis</i>	1.06	0.08	1.85	0.24	0.17	274	332	4.6	48.8	0.95
<i>A. ursinum</i>	0.94	0.10	2.21	0.29	0.12	99.0	87	5.8	62.6	0.87

Анализируя табл. 2, видно, что из макроэлементов преобладает калий, его количество в воздушно-сухой навеске колеблется от 1.85 до 2.21%, низким содержанием отличается кальций – от 0.08 до 0.10.

Микроэлементы, содержащиеся в листьях исследуемых луков, количественно располагаются в следующем убывающем порядке: железо (87–332 мг/кг); цинк (99–274 мг/кг); марганец (48.8–62.6 мг/кг); медь (4.6–5.8 мг/кг); кобальт (0.87–0.95 мг/кг) в воздушно-сухой массе. Наибольшее количество железа, цинка, кобальта накапливается в листьях *A. victorialis*. По содержанию меди и марганца лидирует *A. ursinum*.

Таким образом, высокое содержание витаминов С и других биологически активных веществ, макро- и микроэлементов в листьях *A. ursinum* и *A. victorialis* в условиях культуры свидетельствует о питательной и витаминной ценности этих луков и возможности их использования в пищу для коррекции дефицита витаминов уже с ранней весны.

#### Литература

1. Растительные ресурсы России и сопредельных государств: Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства *Butomaceae–Thyphaceae*. СПб., 1994. 271 с.
2. Юрьева Н.А., Кокорева В.А. Многообразие луков и их использование. М.: Изд-во МСХА, 1992. 160 с.
3. Хасанов Ф.О., Умаров Т.А. Дикорастущие пищевые виды рода *Allium* L. Западного Тянь-Шаня // Узбекский биол. журн. 1989. № 6. С. 24–25.
4. Тухватуллина Л.А., Абрамова Л.М. Интродукция дикорастущих луков в Башкортостане: биология, размножение, агротехника, использование. Уфа: Гилем, 2012. 268 с.
5. Тухватуллина Л.А., Абрамова Л.М. Биохимический состав листьев у дикорастущих видов лука в Республике Башкортостан // Сельскохозяйственная биология. 2012. № 3. С. 109–113.
6. Ермаков А.И., Арасимович А.А., Смирнова-Иконникова М.И. и др. Методы биохимического исследования растений. М.; Л., 1972. С. 308–315.
7. Тухватуллина Л.А. Некоторые биологические особенности *A. ursinum* и *A. victorialis* при интродукции в Республике Башкортостан // Известия Уфимского научного центра РАН. 2016. № 2. С. 22–27.

#### References

1. Vegetation resources of Russia and adjacent states: Phanerogamous plants, their chemical composition, use. The families *Butomaceae–Thyphaceae*. St. Petersburg, 1994. 271 p.
2. Yuryeva N.A., Kokoreva V.A. Diversity of onions and their use. Moscow, MSKhA, 1992. 160 p.
3. Khasanov F.O., Umarov T.A. Wild-growing food species of the genus *Allium* L. in the western Tien-Shan. *Uzbekskiy biologicheskiy zhurnal*, 1989, no. 6, pp. 24–25.
4. Tuxvatullina L.A., Abramova L.M. Introduction of wild-growing onions in Bashkortostan: Biology, propagation, agrotechnology, use. Ufa, Gilem, 2012. 268 p.
5. Tuxvatullina L.A., Abramova L.M. Biochemical composition of leaves in wild-growing onion species of the Republic of Bashkortostan. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*, 2012, no. 3, pp. 109–113.
6. Ermakov A.I., Arasimovich A.A., Smirnova-Ikonnikova M.I., Yarosh N.P., Lukovnikova G.A. Methods of plant biochemical research. Moscow, Leningrad, 1972. pp. 308–315.
7. Tuxvatullina L.A. Some biological features of *A. ursinum* and *A. victorialis* under introduction in the Republic of Bashkortostan. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2016, no. 2, pp. 22–27.

## BIOLOGICALLY ACTIVE AGENTS IN SOME SPECIES OF THE GENUS *ALLIUM* L. UNDER CULTIVATION

© L.A. Tuxvatullina, L.M. Abramova

Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

This paper presents some data on the contents of biologically active agents in leaves of *A. victorialis* and *A. ursinum* under cultivation. The leaves of the onions under study contain 74.5–86.2 mg of ascorbic acid, 28.0–31.0 mg/kg of carotene, 10.06–12.37% of protein, 4.6–6.5% of sugar, 0.37–0.44% of nitrogen, 19.49–20.93% of dry matter, 2.79–3.23% of cellulose and 4.2–5.5% of ash. *A. ursinum* is characterized by rather high contents of vitamin C and carotene, and *A. victorialis* is noted for high contents of sugar, ash and protein, though there is no much difference in the contents of dry matter, nitrogen and cellulose. Potassium has the highest content among the macroelements; its amount in the air-dried weighted portion varies from 1.85 to 2.21%. Calcium content is rather low varying from 0.08 to 0.10%. The microelements contained in the leaves of the onions in question are quantitatively ranked in descending order as follows: Fe (87–332 mg/kg); Zn (99–274 mg/kg); Mn (48.8–62.6 mg/kg); Cu (4.6–5.8 mg/kg); Co (0.87–0.95 mg/kg) in air-dried weight. The greatest Fe, Zn, Co amounts are accumulated in the leaves of *A. victorialis*. *A. ursinum* is ranked first according to Cu and Mn contents. Thus, the leaves of all these onions are distinguished by high contents of vitamin C, carotene, protein, sugar, macro and microelements and other biologically active agents attesting to their nutritional and vitamin value and the promising potential for cultivation.

Key words: genus *Allium* L., biochemical composition, vitamin C, macro and microelements.

**ИНТРОДУКЦИЯ *HOSTA UNDULATA* В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ  
БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

© Л.Н. Миронова, С.Ф. Давлетбаева

Представлены результаты интродукционного испытания *Hosta undulata* (Otto et Dietr.) Bailey в условиях лесостепной зоны Башкирского Предуралья. На базе Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН изучена динамика роста. Выявлено, что листья срединной формации имеют максимальный суточный прирост в фазе отрастания – в середине мая. Рост этих листьев прекращается в фазе бутонизации. В конце июля наблюдается вторая волна роста листьев. Изучена фенология вида. Исследована антэкология. Выявлено наличие хорошо выраженного явления протерандрии и геркогамии элементов цветка. Изучена жизнеспособность пыльцы. Выявлены оптимальные среды для проращивания пыльцевых зерен в лабораторных условиях. Определены перспективы размножения *H. undulata* весенними (май) черенками. Показано, что во всех вариантах опыта укореняются только черенки с «пяточкой» – молодые листья с кусочком корневища. Использование современных препаратов (Силиплант, Циркон и Эпин-экстра) не оказывало существенного влияния на показатели укоренения зеленых черенков хосты. По результатам оценки успешности интродукции и хозяйственно-ценных признаков (способности к вегетативному размножению, холодостойкости и зимостойкости, устойчивости к засухе, вредителям и болезням), а также благодаря высоким декоративным качествам (продолжительному и обильному цветению, декоративным листьям) *H. undulata* перспективна для озеленения населенных пунктов Республики Башкортостан.

Ключевые слова: *Hosta undulata*; динамика роста; фенология; антэкология; черенкование; регуляторы роста растений; успешность интродукции.

Элегантный сад не может состоять из одних красивоцветущих растений. Ему необходимо и какое-то количество декоративно-лиственных культур, среди которых королевой заслуженно считается хоста (*Hosta* Tratt.). В Европу растение попало в начале XIX в. из Японии, долгое время числилось лишь в коллекциях ботанических садов, пока на ее роскошную листву не обратили внимания аранжировщики. Так с подиумов флористов хоста попала в частные сады. Сейчас растение находится на пике своей популярности. Из хост создаются показательные цветники. Во многих странах существуют общества любителей хосты, которые пропагандируют эту культуру, испытывают новые сорта, устраивают выставки, присуждают награды [1–2].

Названа в честь австрийского врача и ботаника Томаса Хоста, автора книги «Флора Австрии». Свое второе название растение (фун-

кия) получило по имени немецкого фармацевта Х.Г. Функа. За сходство с подорожником в англоязычных странах за хостой закрепилось разговорное название лилия-подорожник (*Plantainlily*) [2].

В естественных условиях хоста растет на скалах, по берегам рек, нередко у самой воды или около ключей, на склонах гор, по лесным опушкам у ручьев, иногда на песчаных дюнах и заболоченных участках в теплоумеренной зоне Восточной Азии (Китай, Япония, полуостров Корея), на крайнем юго-западе Дальнего Востока, а также на острове Сахалин и Курильских островах. В культуре насчитывается около 40 видов (включая виды культурного происхождения) и более 2000 сортов хосты. Они не подвержены заболеваниям. Используются как пищевые, лекарственные и декоративные растения. В Японии хосты считаются священными [3–5].

МИРОНОВА Людмила Николаевна – к.с.-х.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН

ДАВЛЕТБАЕВА Сабина Фанисовна, Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: sabina.davletbaeva@mail.ru



Хосты незаменимы при оформлении теневых участков, а также территорий с засоленной почвой. Они способны выживать даже после затопления участка. Листья разнообразной фактуры, формы и цвета остаются привлекательными на протяжении всего вегетационного периода, с ранней весны до поздней осени. Благодаря своей неприхотливости и большому разнообразию сортов, хосты уместны везде: на каменистых горках и в миксбордерах, у водоемов и на клумбах, украсят они и парадный вход в дом. Более того, умело посаженные хосты подчеркивают красоту любого «соседа», будь то гладиолус, лилия или злак. Листья являются прекрасным срезочным материалом для составления букетов и цветочных композиций [2, 4].

Целью нашей работы являлось изучение биологических особенностей представителей рода *Hosta* Tratt. при выращивании в Ботаническом саду-институте Уфимского научного центра РАН (далее БСИ УНЦ РАН) и разработка зонального ассортимента. В связи с этим были поставлены следующие задачи: 1. Выявить особенности сезонного ритма и изучить динамику роста хосты; 2. Исследовать биологию цветения; 3. Изучить жизнеспособность пыльцевых зерен; 4. Определить перспективы размножения хосты весенними черенками; 5. Оценить успешность интродукции. В настоящее время в коллекции БСИ УНЦ РАН насчитывается 11 видов и 39 сортов хосты. В данной статье впервые приведены результаты изучения *H. undulata* (Otto et Dietr.) Bailey (хоста волнистая) в условиях Южного Урала.

**Методы исследования.** Интродукционные исследования проводились на базе Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН в 2000–2016 гг., лабораторные опыты – в 2015–2016 гг. В климатическом отношении район исследований (Уфа, Башкирское Предуралье) характеризуется большой амплитудой колебаний температуры в ее годовом ходе, быстрым переходом от суровой зимы к жаркому лету, поздними весенними и ранними осенними заморозками.

Среднегодовая температура воздуха равна 2.6°C. Среднемесячная температура воздуха зимних месяцев колеблется в пределах от –12.0 до –16.6°C, абсолютный минимум –42°C. Лето жар-

кое и сухое, среднемесячная температура воздуха колеблется от 17.1 до 19.4°C, абсолютный максимум достигал 37°C.

Среднемесячное количество осадков в летние месяцы колеблется в пределах от 54 до 69 мм, среднегодовое количество осадков равно 580 мм. Безморозный период продолжается в среднем 144 дня. Основные типы почв – серые и темно-серые лесные [7].

Для анализа сезонного ритма развития растений применяли методику фенологических наблюдений в ботанических садах [5]. Динамику роста определяли путем измерения высоты растений каждые 10 дней. При изучении экологии цветения использовали методику, предложенную А.Н. Пономаревым [6]. Определение жизнеспособности пыльцы проводили по методике И.Н. Голубинского [7]. При подведении итогов интродукции использована 7-балльная рабочая шкала, разработанная в Донецком ботаническом саду [8].

**Результаты и их обсуждение.** *H. undulata* (Otto et Dietr.) Bailey (хоста волнистая) – вид возник в культуре в Японии. С 1834 г. известен в культуре в Европе. Под этим названием объединена полиморфная группа стерильных клонов, по-видимому, гибридного происхождения [9]. В Башкирии встречается только в частных садах цветоводов-любителей. В Ботанический сад-институт УНЦ РАН завезена деленками из Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск) в 2000 г.

Жизненная форма – многолетний летнезеленый травянистый короткокорневищно-кистекорневой симподиально нарастающий поликарпик с полурозеточным прямостоячим стеблем геофит, гигрофит, эутроф. По результатам исследований выявлено, что в условиях Башкирского Предуралья растения некрупные, образуют кусты высотой до 25 см и диаметром 40–45 см, без воскового налета. Листья чаще мелкие, продолговатояйцевидные, нередко с вытянутой и скрученной верхушкой, у отдельных форм до 22 см длиной и 11 см шириной, сильно волнистые по краю, с 6–10 парами боковых жилок; края пластинки зеленые, центральная ее часть сплошь белая или же белые участки перемежаются у основания листа с зелеными. Цветоносы намного превышают ли-

стья, до 60 см высотой, тонкие, гибкие, с несколькими листьями. Соцветие довольно рыхлое (15–20 см).

Ранней весной (в третьей декаде апреля) на поверхности почвы показываются верхушки листьев, которые можно назвать «пробивными»: они раздвигают грунт, давая возможность более нежным листочкам выбраться к солнцу. У пробивных листьев обычно не развивается листовая пластинка, они остаются чешуевидными и короткими. Эти листья называют катафиллами, или листьями низовой формации, поскольку они всегда прикреплены ниже остальных листьев [10]. Далее разворачиваются типичные для хосты листья с листовой пластинкой и черешком. Их принято называть листьями срединной формации. Главная задача этих листьев – обеспечить растение продуктами фотосинтеза. Отмечено, что *H. undulata* имеет наиболее интенсивный суточный прирост этих листьев в фазе весеннего отрастания (0.71 см) – в середине мая. Рост листьев срединной формации прекращается в середине фазы бутонизации.

При подготовке к цветению форма листьев снова меняется. Эти листья прикреплены к цветоносу. Их называют брактями, прицветниками или листьями верховой формации. Черешок у них практически не развит; есть лишь листовая пластинка. Эти листья участвуют в процессе формирования цветков.

В середине лета у хосты часто наблюдается вторая волна роста: растения посылают сигнал меристемам подземных почек о сокращающейся длине дня, что стимулирует рост и разворачивание новой листовой пластинки [10].

По срокам цветения *H. undulata* относится к среднеранним – зацветает в первой декаде июля и заканчивает цветение во второй декаде августа. Период цветения длится более 40 суток. Весь вегетационный период вида составляет 157–167 суток.

Цветки хосты обоеполые, актиноморфные. Цветки отклоненные, около 5 см длиной. Диаметр цветка составляет до 4 см. Околоцветник воронковидно-колокольчатый, с несколько отогнутыми назад долями. Шесть листочков околоцветника сростаются в длинную трубку, к стенкам которой прикрепляются шесть тычинок. Завязь образована

тремя сросшимися плодолистиками. Окраска цветка – светло-фиолетовая. Длина пыльцевого мешка составляет 0.5 см, а ширина 0.2 см. Окраска пыльцевого мешка фиолетовая. Окраска пестика – светло-зеленовато-желтая.

Наблюдения за ходом распускания цветков хосты показали наличие хорошо выраженного явления протерандрии. Одновременно с началом распускания цветка наблюдается стадия растрескивания пыльников. Этот процесс начинается приблизительно в 9 часов утра. Пыление каждого цветка продолжается в течение 5 часов, при этом пыльца может попадать на рыльце пестика уже в первые часы жизни цветка. Ближе к 14–15 часам лопасти рыльца расправляются, и на них появляются капли жидкого липкого секрета, что свидетельствует о переходе цветка к рыльцевой стадии цветения. Длительность жизни цветков у вида составляет не более суток, в течение которых они активно посещаются антофильными насекомыми, которых привлекает наличие большого количества пыльцы.

В период продуцирования пыльцы столбик пестика, как правило, отогнут кверху, а в последующем еще больше загибается. В ходе морфометрических учетов обнаружена небольшая разница в длине тычинок и пестиков, то есть зафиксировано явление геркогамии (рис. 1). Длина пестика ( $5.16 \pm 0.1$  см) превышает длину тычинок в 1.1 раза. Наличие геркогамии у хосты волнистой способствует перекрестному опылению и снижает вероятность самоопыления.

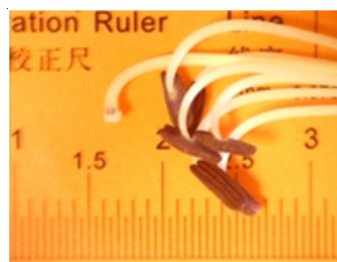


Рис. 1. Пестик и тычинки *H. undulata*

Под жизнеспособностью понимают способность пыльцы прорасти на рыльце пестика при наличии всех благоприятных и неблагоприятных условий. Выявлено, что оптимальной средой для проращивания пыльцевых зерен хосты в лабораторных условиях является 5%-й раствор сахарозы (рис. 2).



Рис. 2. Процесс прорастания пыльцы *H. undulata* в растворе сахарозы (5%)

В этом варианте опыта показатели жизнеспособности пыльцы достигали 2.5%. Добавление в раствор сахарозы борной кислоты (0.003%) позволяет повысить этот показатель в 4 раза (табл. 1). В целом пыльца хосты имеет небольшой показатель жизнеспособности (менее 10%), что является одним из факторов низкой результативности опыления.

В условиях Башкирского Предуралья *H. undulata* не плодоносит. Поэтому основной способ размножения хосты – вегетативный.

Был проведен лабораторный опыт по изучению воздействия регуляторов роста на процесс укоренения зеленых черенков. Варианты опыта: 1. «Силиплант» – 3 мл препарата растворяли в одном литре воды; время обработки – 30 минут. 2. «Циркон» – 0.25 мл препарата растворяли в 1 литре воды; время обработки – 24 часа. 3. «Эпин-экстра» – 1 мл препарата растворяли в 1 литре воды; время обработки – 24 часа. Контролем служили необработанные черенки, замоченные в водопроводной воде.

Для этого на базе БСИ УНЦ РАН черенки заготавливали в фазе весеннего отрастания

растений (май 2015 и 2016 гг.). Исходным материалом служили молодые листья с кусочком корневика – с «пяточкой» и листья без «пяточки». Черенки высаживали в ящики с песком и содержали в условиях производственной теплицы. Через 3–4 недели на черенках отмечали образование корней.

Выявлено, что показатели укоренения черенков *H. undulata* в контрольном варианте максимально высокие (100%). Во всех вариантах опыта укоренялись только черенки с «пяточкой». Показано, что препараты «Силиплант», «Циркон» и «Эпин-экстра» не только не оказывали положительного влияния на показатели укоренения зеленых черенков хосты, а даже ингибировали этот процесс. Наиболее эффективным оказался контрольный вариант (табл. 2).

Для оценки успешности интродукции хосты была использована рабочая шкала баллов, разработанная в Донецком ботаническом саду. Каждый балл представляет собой цифровое выражение степени успешности интродукции (переселения) растений в новые для них условия. Более высокий порядковый номер балла означает более высокую степень успешности интродукции вида. Показателями успеха служат устойчивость к неблагоприятным климатическим факторам (засухоустойчивость, зимостойкость), наличие регулярного цветения и плодоношения.

Опыт возделывания *H. undulata* на интродукционном участке БСИ УНЦ РАН показал, что растения очень долговечны и могут выращивать-

Т а б л и ц а 1

Жизнеспособность пыльцы *H. undulata* (в %) в лабораторных условиях

Варианты опыта	Концентрации растворов сахарозы, %						
	2,5	5	7	10	15	20	30
В р-ре сахарозы	0	2,5	0	0	0	0	0
В р-ре сахарозы с борной кислотой	0	10	0	0	0	0	0

Т а б л и ц а 2

Влияние регуляторов роста на укоренение зеленых черенков *H. undulata*

Варианты опыта	Количество укоренившихся черенков, %			
	Контроль	Силиплант	Циркон	Эпин-экстра
Лист с «пяточкой»	100	90	90	80
Лист без «пяточки»	0	0	0	0

ся на одном месте в течение 10–15 лет и более. Нарастание новых побегов происходит путем формирования почек возобновления, зимующих на корневище. За годы наблюдений не отмечены факты вымерзания и выпревания растений. По результатам оценки успешности интродукции *H. undulata* оценена четырьмя баллами. Она регулярно массово цветет, но не плодоносит. Изученный вид отнесен к устойчивым растениям, так как он проходит полный годичный цикл развития побегов, характеризуется стабильностью ритмических процессов и их приспособленностью к почвенно-климатическим условиям лесостепной зоны Башкирского Предуралья; жизненное состояние высокое.

По комплексу хозяйственно-ценных признаков (способности к вегетативному размножению, холодостойкости и зимостойкости, устойчивости к засухе, вредителям и болезням), а также благодаря высоким декоративным качествам (продолжительному и обильному цветению, декоративным листьям) *H. undulata* высоко перспективна для озеленения населенных пунктов Республики Башкортостан.

**Выводы** 1. Проведено интродукционное изучение *Hosta undulata* в условиях лесостепной зоны Башкирского Предуралья. Изучена динамика роста и фенология. Выявлено, что листья срединной формации имеют максимальный суточный прирост (0.71 см) в фазе весеннего отрастания – в середине мая. Рост этих листьев прекращается в середине фазы бутонизации. В середине лета наблюдается вторая волна роста листьев. По срокам цветения *H. undulata* относится к среднеранним – зацветает в первой декаде июля и заканчивает цветение во второй декаде августа. Период цветения длится более 40 суток. Весь вегетационный период вида составляет 157–167 суток.

2. Исследована антропоэкология вида. Выявлено наличие хорошо выраженного явления протерандрии. Длительность жизни цветка у вида составляет не более суток. В ходе морфометрических учетов отмечена разница в длине тычинок и пестиков, то есть зафиксировано явление геркогамии.

3. Изучена жизнеспособность пыльцы. Выявлено, что оптимальной средой для проращивания пыльцевых зерен хосты в лабораторных ус-

ловиях является 5%-й раствор сахарозы. Добавление в раствор борной кислоты позволяет повысить этот показатель более чем в 4 раза. Пыльца хосты имеет небольшой показатель жизнеспособности (2.5–10%), что является одним из факторов низкой результативности опыления.

4. Определены перспективы размножения *H. undulata* весенними (май) черенками. Выявлено, что показатели укоренения черенков достаточно высокие (до 80%). Показано, что во всех вариантах опыта укореняются только черенки с «пяточкой». Образование корней наблюдалось через 3–4 недели.

5. Изученный вид отнесен к устойчивым растениям, так как проходит полный годичный цикл развития побегов, но не плодоносит. *H. undulata* характеризуется стабильностью ритмических процессов и их приспособленностью к почвенно-климатическим условиям лесостепной зоны Башкирского Предуралья. Жизненное состояние особой высокое.

6. По комплексу хозяйственно-ценных признаков (способности к вегетативному размножению, холодостойкости и зимостойкости, устойчивости к засухе, вредителям и болезням), а также благодаря высоким декоративным качествам (продолжительному и обильному цветению, декоративным листьям) *H. undulata* перспективна для озеленения населенных пунктов Республики Башкортостан.

#### Литература

1. Миронова Л.Н., Реут А.А., Шайбаков А.Ф., Шипаева Г.В. Таксономический состав декоративных травянистых растений культурной флоры Башкирии // Известия Уфимского научного центра РАН. 2014. № 1. С. 43–49.
2. Реут А.А., Миронова Л.Н., Давлетбаева С.Ф. Интродукционные ресурсы рода *Hosta* Tratt. на Южном Урале // Проблемы изучения растительного покрова Сибири: Матер. V междунар. науч. конф. Томск, 2015. С. 335–338.
3. Давлетбаева С.Ф., Миронова Л.Н., Реут А.А. Хосты для зеленого строительства на Южном Урале // Вестник Удмуртского университета. 2015. Т. 25, вып. 2. С. 51–57.
4. Реут А.А., Давлетбаева С.Ф., Миронова Л.Н. Влияние стимуляторов роста на биологические особенности хосты при культивировании в Республике Башкортостан // Цветоводство: история, теория, практика:

Матер. VII междунар. научн. конф. Минск, 2016. С. 375–379.

5. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах. М.: ГБС АН СССР, 1972. 135 с.

6. Полевая геоботаника. М.: Наука, 1960. Т. 2. С. 9–19.

7. Голубинский И.Н. Исследования прорастания пыльцевых зерен на искусственных средах: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Харьков, 1962. 20 с.

8. Баканова В.В. Цветочно-декоративные многолетники открытого грунта. Киев: Наукова думка, 1984. С. 9–11.

9. Миронова Л.Н., Реут А.А., Анищенко И.Е. Итоги интродукции и селекции декоративных травянистых растений в Республике Башкортостан. М.: Наука, 2007. Ч. II. С. 34–41.

10. Чуб В.В. Как растет хоста // Сад & садик. 2007. № 1. С. 9–14.

### References

1. Mironova L.N., Reut A.A., Shaybakov A.F., Shipaeva G.V. Taxonomic composition of ornamental herbaceous plants in cultivated flora of Bashkiria. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2014, no. 1, pp. 43–49.

2. Reut A.A., Mironova L.N., Davletbaeva S.F. Introduction resources of the genus *Hosta* Tratt. in the

South Urals. *Problemy izucheniya rastitelnogo pokrova Sibiri. Materialy V mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* (October 20–22, 2015, Tomsk). Tomsk, 2015, pp. 335–338.

3. Davletbaeva S.F., Mironova L.N., Reut A.A. Hostas for green building in the South Urals. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2015, vol. 25, no. 2, pp. 51–57.

4. Reut A.A., Davletbaeva S.F., Mironova L.N. The influence of growth stimulators on biological features of hosta plants under cultivation in the Republic of Bashkortostan. *Tsvetovodstvo: istoriya, teoriya, praktika. Materialy VII mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* (May 24–26, 2016, Minsk). Minsk, 2016, pp. 375–379.

5. Phenological observation methods in botanical gardens. L.I. Lapin (ed.). Moscow, GBSAN SSSR, 1972. 135 p.

6. Field geobotany. E.M. Lavrenko, A.A. Korchagin (eds). Vol. 2. Moscow, Nauka. 1960, pp. 9–19.

7. Golubinsky I.N. Studying the germination of pollen grains in artificial media. PhD Thesis in Biology. Kharkov, 1962. 20 p.

8. Bakanova V.V. Perennial ornamental flowers under outdoor cultivation. Kiev, Naukova dumka, 1984, pp. 9–11.

9. Mironova L.N., Reut A.A., Anishchenko I.E. Results of introduction and selection of ornamental herbaceous plants in the Republic of Bashkortostan. Pt. 2. Moscow, Nauka, 2007, pp. 34–41.

10. Chub V.V. The way hosta grows. *Sad & sadik*, 2007, no. 1, pp. 9–14.

## THE INTRODUCTION OF *HOSTA UNDULATA* UNDER CONDITIONS FOREST STEPPE ZONE OF THE BASHKIR CIS-URALS

© L.N. Mironova, S.F. Davletbaeva

Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

The article presents the results of introduction tests of *Hosta undulata* (Otto et Dietr.) Bailey under conditions of the forest-steppe zone of the Bashkir Cis-Urals. Its growth dynamics has been studied on the basis of the Botanical Garden-Institute (Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences). It is found that leaves of the middle formation have a maximum daily increase during the maturing phase in mid-May. These leaves stop growing during the budding phase. The second wave of leaf growth is observed late in July. The phenology and anthecology of the species have been researched. The phenomenon of well-marked protandry and herkogamy of floral elements is revealed. Pollen viability has been studied, and the optimal growing media for pollen germination under laboratory conditions have been identified. The prospects for breeding *H. undulata* by spring (May) cuttings have been assessed. It is shown that in all variants of the experiment only heel cuttings are successfully rooted, i.e. young leaves with a rhizome piece. The use of modern growth regulators (Siliplant, Zirkon and Epin-Extra) has not much effect on rooting values of *Hosta* green cuttings. Thus, *H. undulata* can be considered promising for gardening in the Republic of Bashkortostan according to introduction successfulness indicators and agronomically important features (ability for vegetative propagation, cold resistance and winter hardiness, resistance to drought, pests and diseases), and also thanks to its ornamental qualities (long-term and abundant blossom, pretty leaves).

Key words: *Hosta undulata*, growth dynamics, phenology, anthecology, propagation by cuttings, growth regulators, introduction successfulness.

УДК 581.55+504.062

## К РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОВРАГОВ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

© В.А. Михайлова, Л.М. Абрамова, Я.М. Голованов

Приводятся результаты геоботанических исследований оврагов 6 районов Предуралья Республики Башкортостан (Белебеевский, Дюртюлинский, Еремеевский, Мелеузовский, Ишимбайский и Стерлитамакский). Растительность оврагов представляет собой сложный комплекс, включающий однолетнюю пионерную растительность, формирующуюся на незаросших и слабо заросших после размывов почв участках, многолетнюю рудеральную растительность, представляющую более позднюю стадию восстановительной сукцессии, влажные луга и прибрежно-водные сообщества гелофитов, занимающие днища оврагов, где зачастую протекают ручьи, а также луга и пастбища разной экологии и степени хозяйственного использования. В целом следует отметить слабую представленность научных работ, посвященных изучению флоры и растительности овражных систем. Проведенные нами исследования значительно пополняют сведения о флористических и синтаксономических особенностях овражных экосистем.

По результатам классификации овражно-балочных комплексов Предуралья Республики Башкортостан был составлен продромус растительности, включивший 23 ассоциации, 11 вариантов, 12 сообществ (в том числе 6 дериватных) из 5 классов (*Bidentetea tripartitae*, *Stellarietea mediae*, *Artemisietea vulgaris*, *Galio-Urticetea*, *Phragmito-Magnocaricetea*, *Molinio-Arrhenatheretea*), 14 порядков и 14 союзов. Наибольшее разнообразие сообществ овражно-балочных систем сосредоточено в трех классах растительности – *Phragmito-Magnocaricetea* (прибрежно-водные сообщества), *Artemisietea vulgaris* (рудеральные сообщества высокорослых двулетних и многолетних видов) и *Molinio-Arrhenatheretea* (вторичные послелесные луга Евразии). Ценофлора описанных сообществ характеризуется очень высокой долей синантропных видов, в отдельных случаях – свыше 90%, что связано с активным использованием данных местообитаний в качестве выгонов для скота. Наиболее сохранившиеся фации оврагов – это их днища, занятые прибрежно-водными и околородными сообществами из гелофитов, плохо поедаемых скотом. Склоны балок, покрытые травяной растительностью, как правило, сбиты и синантропизированы в разной степени. В составе этих сообществ крайне мало редких видов растений, они представлены в основном устойчивыми к выпасу злаками и другими многолетними видами растений. Это свидетельствует о невысокой соэкологической значимости данного типа растительности.

Ключевые слова: овраги, растительность, классификация, метод Браун-Бланке, синантропизация.

**Введение.** Развитие современных эрозионных процессов является следствием интенсивного хозяйственного использования территорий, прежде всего – распашки земель, вырубки лесов, избыточного выпаса скота [1]. Эти факторы накладываются на неблагоприятные природные характеристики – значительный уклон местности, глубину местного базиса эрозии, характер и интенсивность осадков, скорость снеготаяния, устойчивость пород против эрозии и пр. [2]. Сочетание природных и антропогенных факторов формирует современную овражно-балочную сеть.

Рельеф Башкортостана отличается сильной расчлененностью, связанной с горной цепью Южного Урала, проходящей меридионально и делящей территорию республики на Предуралье и Зауралье. Сложный характер рельефа способствует возникновению и росту оврагов – на территории республики имеется 2302 действующих оврага. Наибольшее развитие овражная эрозия получила в районах Предуралья с интенсивным сельским хозяйством, особенно на Прибельской левобережной волнисто-увалистой равнине [3]. Плотность овражной сети здесь составляет 0.192 оврага/км<sup>2</sup>, среднего-

МИХАЙЛОВА Валентина Анатольевна – к.б.н., Стерлитамакский филиал БашГУ,

e-mail: biochem@sspa.bashtel.ru

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

ГОЛОВАНОВ Ярослав Михайлович – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: jaro1986@mail.ru

довой прирост которых (5–7 м) происходит главным образом за счет весеннего снеготаяния [4, 5].

В Предуралье представлены почти все типы оврагов – вершинные, береговые, склоновые, донные, а по степени эрозионности – от молодых действующих оврагов до затухающих, прекративших свой рост задернованных и облесяющих балок. В сильно освоенных ландшафтах лесостепной и степной зон они являются экологическими коридорами между участками с сохранившейся естественной растительностью, и потому рассматриваются как элементы сети ООПТ [6].

Флора и растительность овражных систем слабо изучена. Овраги в силу нарушений субстрата эрозионно-аккумулятивными процессами и интенсивным антропогенным прессом, отличаются высокой степенью синантропизации растительного покрова [7], которая проявляется как в молодых активных оврагах, так и в неактивных задернованных балках. Высокое участие синантропных видов в сообществах связано как с открытостью данного типа растительности вследствие эрозионных процессов, так и с переносом диаспор видов с окружающих овраги посевов и пастбищ и потоками ручьев, протекающих по оврагам, по крайней мере, в весеннее время. В результате формируются сообщества со сложным флористическим составом, при классификации которых приходится задействовать наряду с классическими методами дедуктивный метод [8].

Настоящая статья обобщает результаты классификации растительности овражных комплексов 6 районов Башкирского Предуралья с интенсивно развитым сельским хозяйством.

**Методика исследований.** Сбор материала проводился стандартным маршрутным методом на территории 6 районов Предуралья Республики Башкортостан: Белебеевского, Дюртюлинского, Еремеевского, Мелеузовского, Ишимбайского и Стерлитамакского. На территории этих районов расположено более 1000 оврагов [9]. Геоботанические описания выполнялись по традиционной методике в границах однородного сообщества, всего было выполнено 355 описаний. При обработке материала использовался как классический метод Браун-Бланке [10], так и дедуктивный метод К. Копечки и С. Гейны [8].

**Результаты исследования.** Растительность оврагов представляет собой сложный комплекс, включающий однолетнюю пионерную растительность, формирующуюся на незаросших и слабо заросших после размывов почв участках, многолетнюю рудеральную растительность, представляющую более позднюю стадию восстановительной сукцессии, влажные луга и прибрежные сообщества, занимающие днища оврагов, где иногда протекают ручьи, а также луга и пастбища разной экологии и степени хозяйственного использования.

По результатам классификации овражно-балочных комплексов Предуралья Республики Башкортостан был составлен продромус растительности оврагов, включивший 23 ассоциации, 11 вариантов, 12 сообществ (в том числе 6 дериватных) из 5 классов (*Bidentetea tripartitae*, *Stellarietea mediae*, *Artemisietea vulgaris*, *Galio-Urticetea*, *Phragmito-Magnocaricetea*, *Molinio-Arrhenatheretea*), 14 порядков и 14 союзов.

#### Продромус растительности оврагов Башкирского Предуралья

Класс *Bidentetea tripartitae* R. Tx. et al. ex von Rochow 1951

Порядок *Bidentetalia tripartitae* Br.-Bl. et R. Tx. ex Klika et Hadač 1944

Союз *Bidention tripartitae* Nordhagen ex Klika et Hadač 1944

Ассоциация *Bidentetum tripartitae* Miljan 1933

вар. *typica*

вар. *Persicaria lapathifolia*

Д.с. *Artiplex nitens* [*Bidentetea tripartitae*]

Класс *Stellarietea mediae* R. Tx. et al. ex von Rochow 1951

Порядок *Sisymbrietalia* J. Tx. ex Görs 1966

Союз *Atriplicion* Passarge 1978

Ассоциация *Chenopodietum albi* Solomeshch in Ishbirdin et al. 1988

Сообщество *Sinapis arvensis-Cirsium setosum*

Д.с. *Tripleurospermum perforatum* [*Stellarietea mediae*/ *Molinio-Arrhenatheretea*]

- Класс *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951  
 Порядок *Artemisietalia vulgaris* Lohmeyer in R. Tx 1947  
 Союз *Arction lappae* R. Tx. 1937  
 Ассоциация *Leonuro-Urticetum dioicae* Solomeshch in Ishbirdin et al. 1986  
 вар. *typica*  
 вар. *Persicaria lapathifolia*  
 Ассоциация *Arctietum lappae* Felföldy 1942  
 Ассоциация *Conio-Arctietum tomentosii* Ishbirdin et Sakhapov in Ishbirdin et al. 1988
- Порядок *Onopordetalia acanthii* Br.-Bl. et R. Tx. ex Klika et Hadač 1944  
 Союз *Onopordion acanthii* Br.-Bl. et al. 1936  
 Ассоциация *Carduetum acanthoidis* Felföldy 1942  
 Сообщество *Tussilago farfara*
- Порядок *Agropyretalia repentis* Oberdorfer et al. ex Th. Müller et Görs 1969  
 Союз *Convolvulo arvensis-Agropyron repentis* Görs 1966  
 Ассоциация *Convolvulo arvensis-Brometum inermis* Felföldy 1943  
 вар. *typica*  
 вар. *Tripleurospermum perforatum*  
 Ассоциация *Convolvulo arvensis-Elytrigietum repentis* Felföldy 1943
- Класс *Galio-Urticetea* Passarge ex Kopecký 1969  
 Порядок *Lamio albi-Chenopodietalia boni-henrici* Kopecký 1969  
 Союз *Aegopodion podagrariae* R. Tx. 1967  
 Ассоциация *Urtico dioicae-Aegopodietum podagrariae* (R. Tx. 1963) Oberdorfer 1967
- Класс *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novák 1941  
 Порядок *Phragmitetalia communis* Koch 1926  
 Союз *Phragmition communis* Koch 1926  
 Ассоциация *Phragmitetum communis* (Gams 1927) Schmale 1939  
 вар. *typica*  
 вар. *Salix alba*  
 Ассоциация *Typhetum angustifoliae* Pignatti 1953  
 вар. *Puccinellia distans*  
 Ассоциация *Typhetum latifoliae* Nowiński 1930  
 Ассоциация *Sparganietum erecti* Roll 1938
- Порядок *Magnocaricetalia* Pignatti 1953  
 Союз *Magnocaricion elatae* Koch 1926  
 Ассоциация *Caricetum ripariae* Máthé et Kovács 1959  
 Ассоциация *Caricetum gracilis* Savich 1926  
 вар. *typica*  
 вар. *Poa trivialis*  
 Ассоциация *Caricetum atherodis* (Prokopjev 1990) et Taran 1995  
 Ассоциация *Phalaridetum arundinaceae* Libbert 1931
- Порядок *Oenanthetalia aquaticaе* Hejný in Kopecký et Hejný 1965  
 Союз *Oenanthion aquaticaе* Hejný ex Neuhäusl 1959  
 Ассоциация *Eleocharitetum palustris* Savich 1926
- Порядок *Bolboschoenetalia maritimi* Hejný in Holub et al. 1967  
 Союз *Bolboschoenion maritimi* Dahl et Hadač 1941  
 Ассоциация *Bolboschoenetum maritimi* Eggler 1933
- Порядок *Nasturtio-Glyceritalia* Pignatti 1953  
 Союз *Glycerio-Sparganion* Br.-Bl. et Sissingh in Boer 1942  
 Ассоциация *Glycerietum fluitantis* Nowiński 1930  
 Ассоциация *Catabrosetum aquaticaе* Rübel 1912  
 Д.с. *Typha latifolia* [*Phragmito-Magnocaricetea/Stellarietea mediae*]  
 Д.с. *Sparganium erectum* [*Phragmito-Magnocaricetea/Stellarietea mediae*]



- Сообщество *Puccinellia distans-Alisma plantago-aquatica* [*Phragmito-Magnocaricetea*]  
Класс *Molinio-Arrhenatheretea* R. Tx. 1937  
Порядок *Molinietalia* Koch 1926  
Союз *Calthion* R. Tx. 1937  
Ассоциация *Scirpetum sylvatici* Ralski 1931  
Сообщество *Epilobium hirsutum*  
Союз *Potentillion anserinae* R. Tx. 1947  
Ассоциация *Rumici crispi-Agrostietum stoloniferae* Moor 1958  
Д.с. *Urtica dioica* [*Potentillion anserinae*]  
Порядок *Arrhenatheretalia* R. Tx. 1931  
Сообщество *Festuca pratensis*  
Союз *Cynosurion* R. Tx. 1947  
Сообщество *Poa pratensis*  
Д.с. *Poa pratensis* [*Molinio-Arrhenatheretea/Onopordetalia*]  
Порядок *Galietales veri* Mirkin et Naumova 1986  
Сообщество *Festuca pseudovina*

Анализ приведенного продромуса показывает, что наибольшее разнообразие сообществ овражно-балочной растительности присуще 3 классам растительности – *Phragmito-Magnocaricetea* (прибрежно-водная растительность), *Artemisietea vulgaris* (высокорослая многолетняя рудеральная растительность) и *Molinio-Arrhenatheretea* (вторичная послелесная луговая растительность). При этом в составе сообществ нередко очень высокая доля синантропных видов, в отдельных случаях – свыше 90% [7], что связано с активным использованием данных местообитаний в качестве выгонов для скота. Наиболее сохранившиеся фации оврагов – это их днища, занятые прибрежно-водными и околородными сообществами из гелофитов, плохо поедаемых скотом. Склоны балок, покрытые травяной растительностью, как правило, сбиты и синантропизированы в разной степени. В составе этих сообществ крайне мало редких видов растений, они представлены в основном устойчивыми к выпасу злаками и другими многолетними видами растений. Это свидетельствует о невысокой соэкологической значимости данного типа растительности.

#### Литература

1. Зорина Е.Ф., Никольская И.И. Овраги – одно из звеньев единой эрозионной сети // Геоморфология. 2008. № 3. С. 23–28.
2. Ермолаев О.П. Эрозионные процессы в бассейновых геосистемах Среднего Поволжья // Известия Русского географического общества. 2013. Т. 145, № 2. С. 66–74.

3. Туровцев М.М. Водная эрозия почв в Башкирии. Уфа: Башкиргиздат, 1957. 76 с.
4. Косоуров Ю.Ф. Овраги и крутосклоны. Уфа: Гилем, 1996. 167 с.
5. Косоуров Ю.Ф. Опыт лесомелиорации эродированных склонов Белебеевской возвышенности // Башкирский экологический вестник. 1999. № 3. С. 25–29.
6. Рожков А.Г., Черкасов Г.Н. Природоохранная роль растительности оврагов и заовраженных земель // Сельскохозяйственное использование заовраженных земель. М., 1989. С. 33–41.
7. Абрамова Л.М., Михайлова В.А. Оценка уровня синантропизации растительности оврагов Башкирского Предуралья // Экология. 2003. № 3. С. 171–175.
8. Корецкы К., Hejny S. A new approach to the classification of anthropogenic plant communities // Vegetatio. 1974. V. 29. P. 17–20.
9. Михайлова В.А. Растительность оврагов Башкирского Предуралья и возможность ее использования для оценки интенсивности процессов линейной эрозии: дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2000. 215 с.
10. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. 3 Aufl. Wien, 1964. 865 S.

#### References

1. Zorina E.F., Nikolskaya I.I. Ravines as one of the components of a single erosive network. Geomorfologiya, 2008, no. 3, pp. 23–28.
2. Ermolaev O.P. Erosion processes in basin geosystems of the Central Volga Region. Byulleten Russkogo geograficheskogo obshchestva, 2013, vol. 145, no. 2, pp. 66–74.

3. Turovtsev M.M. Water erosion of soils in Bashkiria. Ufa, Bashknigoizdat, 1957. 76 p.
4. Kosourov Yu.F. Ravines and steep slopes. Ufa, Gilem, 1996. 167 p.
5. Kosourov Yu.F. Experience in meliorating barren slopes of the Belebey Upland. *Bashkirskiy ekologicheskiy vestnik*, 1999, no. 3, pp. 25–29.
6. Rozhkov A.G., Cherkasov G.N. The role of ravine vegetation in nature protection. *Selskokhozyaystvennoe ispolzovanie zaovrazhennykh zemel*. Moscow, 1989, pp. 33–41.
7. Abramova L.M., Mikhaylova V.A. Assessment of the level of ravine vegetation synantropization in the Bashkir Cis-Urals. *Russian Journal of Ecology*, 2003, no. 3, pp. 171–175.
8. Kopecky K., Hejny S. A new approach to the classification of anthropogenic plant communities. *Vegetatio*, 1974, vol. 29, pp. 17–20.
9. Mikhaylova V. A. Ravine vegetation in the Bashkir Cis-Urals and possibility of its use for assessing the intensity of linear erosion processes. PhD Thesis in Biology. Ufa, 2000. 215 p.
10. Braun-Blanquet J. *Pflanzensociologie*. 3 Aufl. Wien, 1964. 865 S.



## ON RAVINE VEGETATION OF THE BASHKIR CIS-URALS

© V.A. Mikhaylova<sup>1</sup>, L.M. Abramova<sup>2</sup>, Ya.M. Golovanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sterlitamak Branch of the Bashkir State University  
49, prospekt Lenina, 453103, Sterlitamak, Russian Federation

<sup>2</sup> Botanical Garden-Institute Ufa Scientific Centre of RAS,  
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

The article gives the results of ravine geobotanical research in six districts of the Cis-Ural region of the Republic of Bashkortostan (Belebeevskiy, Dyurtyulinskiy, Ermekeevskiy, Meleuzovskiy, Ishimbayskiy and Sterlitamakskiy districts). The ravine vegetation represents an intricate mixture of annual pioneer vegetation formed on non-grassy and poorly grass-grown sites after soil washouts, perennial ruderal vegetation representing a later stage of the recovery succession, damp meadows and riparian helophyte communities that occupy the ravine bottoms with streams often running through them, and also meadows and pastures with different types of ecology and the extent of economic use. On the whole one should note a modest number of scientific publications related to the flora and vegetation of the ravine systems. Our research gives more knowledge on floristic and syntaxonomical features of the ravine ecosystems.

According to the classification results of ravine plant assemblages in the Cis-Ural region of the Republic of Bashkortostan, the vegetation prodrome has been prepared that included 23 associations, 11 variants, 12 communities (among them 6 derivatives) out of 5 classes (*Bidentetea tripartitae*, *Stellarietea mediae*, *Artemisietea vulgaris*, *Galio-Urticetea*, *Phragmito-Magnocaricetea*, *Molinio-Arrhenatheretea*), 14 orders and 14 alliances. The greatest number of ravine plant communities belong to three vegetation classes. These are *Phragmito-Magnocaricetea* (riparian communities), *Artemisietea vulgaris* (ruderal communities of tall biennial and perennial species) and *Molinio-Arrhenatheretea* (secondary post-forest meadows of Eurasia). The coenotic flora of the communities described above is characterized by a very high percentage of synanthropic species, sometimes exceeding 90%, which is due to the use of these habitats as cattle pastures. The best preserved ravine facies are the bottom sites occupied by riparian communities of helophytes badly eaten by the cattle. As a rule, the grass-grown slopes are damaged and synanthropized to a different degree. There are very few rare species represented generally by graze-resistant cereals and other perennials, which testifies to low zoological importance of this type of vegetation.

Key words: ravines, vegetation, classification, Braun-Blanquet method, synantropization.

## АНАЛИЗ АЗИАТСКОГО КОМПОНЕНТА ГЕНОМА ТЮРКОЯЗЫЧНЫХ НАРОДОВ ПОВОЛЖЬЯ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ МЕТОДОМ ПРОЕКЦИИ НА ОСИ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

© У.Б. Юнусбаев, Р.Р. Валиев, Б.Б. Юнусбаев

Компоненты изменчивости геномов современных народов содержат богатую информацию об истории демографии популяций человека. Происхождение и история демографии тюркских народов активно дискутируются, однако на геномном уровне изучены недостаточно. В данной работе нами проанализированы 312,524 SNP маркера в выборках тюркоязычных народов Поволжья и Центральной Азии с целью определения происхождения некоторых компонентов генома. Анализ был выполнен путем расчета главных компонент изменчивости геномов популяций Юго-Восточной Азии и Сибири с последующей проекцией образцов тюркоязычных народов на осях вариации. Данный двухэтапный подход позволил нам найти положение проецируемых образцов по тем маркерам генома, которые характеризуют компоненты изменчивости популяций Юго-Восточной Азии и Сибири. Результат проекции показал тесную кластеризацию геномов тюркоязычных народов Поволжья и Центральной Азии с выборками народов Южной Сибири и Монголии. Это указывает на преимущественно южносибирское происхождение части генома западных тюркских народов. Нами также показано, что доля южносибирского компонента у западных тюркских народов убывает в ряду: киргизы, казахи, узбеки, туркмены, башкиры, татары, чуваша. Также нами показана роль разных популяций Юго-Восточной Азии и Сибири в формировании генофондов западных тюркских народов.

Ключевые слова: полногеномный анализ, генетическая структура популяции, проекция на оси главных компонент, генетическое происхождение.

**Введение.** Современные тюркоязычные (далее по тексту тюркские) народы насчитывают более 170 млн человек. Многовековые миграции на протяжении V–XIV вв. привели к широкому распространению тюркских народов по территории Евразии [1, 2].

Ранние генетические исследования, основанные на маркерах Y-хромосомы и митохондриальной ДНК (мтДНК), а также на маркерах аутосомных хромосом показали, что тюркские народы Западной Азии и Восточной Европы генетически более близки к географическим соседям, нежели к лингвистически родственным народам Центральной Азии. У западных тюркских народов были обнаружены гаплогруппы Y-хромосомы и мтДНК, характерные для народонаселения Юго-Восточной Азии и Сибири [3, 4]. Анализ маркеров Y-хромосомы и мтДНК тюркских народов Центральной Азии выявил значительную общ-

ность пула отцовских и материнских линий с популяциями Восточной Азии и Сибири [5]. В литературе имеется ряд исследований генетической структуры народонаселения Евразии на основе полногеномной панели аутосомных SNP маркеров. В этих работах имеются популяционные выборки тюркских народов [4, 7], однако не рассматриваются вопросы их демографического прошлого.

Наиболее масштабным исследованием генофонда тюркских народов с применением полногеномных данных можно считать международный проект Эстонского Биоцентра [2]. В этой работе было показано, что геномы современных тюркских народов несут следы потока генов из Южной Сибири и Монголии (ЮСМ). Указанные сведения получены при исследовании идентичных по происхождению протяженных участков генома, полученных от недавнего общего предка. Метод, примененный в этой работе, позволяет про-

ЮНУСБАЕВ Урал Булатович – к.б.н., Уфимский научный центр РАН, e-mail: uralu@mail.ru

ВАЛИЕВ Руслан Радисович – к.б.н., Уфимский научный центр РАН, e-mail: ruslan\_valiev@mail.ru

ЮНУСБАЕВ Баязит Булатович – к.б.н., Уфимский научный центр РАН, e-mail: yunusbba@inbox.ru

анализировать следы сравнительно недавних (примерно 10–50 поколений назад) демографических событий. В то же время известно, что история формирования генофонда народонаселения Евразии насчитывает более 50 тыс. лет [8]. Идентичные по происхождению участки генома составляют относительно небольшую долю генома человека. При этом значительная часть генома, которая несет информацию о более древних событиях в истории формирования генофонда, остается вне поля зрения генетического анализа.

В настоящей работе сделана попытка взглянуть на более древние пласты генофонда тюрков. Анализ генофонда тюркских народов выполнен методом проекции на оси главных компонент. Указанный метод интегрально учитывает все маркеры генома, которые показывают высокую вариабельность в анализируемой выборке. В анализ включены популяционные выборки из следующих тюркских народов: киргизы, казахи, узбеки, туркмены, башкиры, татары, чуваша. При этом ставился вопрос, как расположены указанные тюркские народы на градиентах генетической изменчивости между разными популяциями Юго-Восточной Азии и Сибири. Последние рассматриваются как вероятные источники генетических компонентов, оказавших влияние на генофонд тюркских народов.

**Материалы и методы.** В данной работе были использованы ранее опубликованные [2] полногеномные данные по 1265 индивидам с 312,524 SNP маркерами, общими для микроматриц Human1M-Duo и Illumina 610k, 550k, 650k.

Анализ геномов выполнен методом проекции на оси главных компонент в два этапа с использованием программы SMARTPCA из пакета EIGENSOFT [9, 10]. Первый этап включал расчет главных компонент на выборках популяций Юго-Восточной Азии и Сибири (на рис. указаны серым цветом). Для расчета главных компонент брались только несмешанные популяции. Первая главная компонента (Principal Component, PC1) представляет градиент согласованно меняющихся генотипов в популяциях от Севера Сибири до Юго-Восточной Азии. Ненцы (на рис. обозначены как pnf) и дайцы (di) занимают два крайних значения первой главной компоненты. Указанные народы имеют максимально отличающиеся ге-

нотипы по маркерам с нагрузкой на компоненту. Вторая главная компонента (PC2) отражает градиент изменчивости генотипов от Северо-Восточной Сибири (СВС) до Юга Сибири. Чукчи (chk) и долганы (dl) занимают крайние положения вдоль этой оси, следовательно, можно утверждать, что их генотипы по маркерам с нагрузкой на компоненту отличаются максимально. На втором этапе на рассчитанные ранее оси главных компонент вторым слоем спроецированы геномные данные тюркских народов (на рис. указаны черным цветом). Второй слой проекции продублирован на рис. в увеличенном виде. Следует подчеркнуть, что образцы, спроецированные на второй слой, не участвовали при расчете главных компонент. Следовательно, проекция образцов второго слоя произведена на основе маркеров с нагрузкой на уже рассчитанные главные компоненты. Таким образом, были вычислены позиции тюркских популяций по маркерам, которые имеют нагрузку на главные компоненты изменчивости в Юго-Восточной Азии и Сибири.

**Результаты и обсуждение.** Как было отмечено выше, геномы современных тюркских народов несут следы из единого эпицентра – ЮСМ [2]. Поэтому этот регион в данной работе рассматривается как наиболее вероятный источник экспансии тюркских народов на запад. Поэтому, прежде чем приступим к анализу тюркских популяций, рассмотрим на рисунке проекции геномов народов ЮСМ. Сегодня коренными народами ЮСМ являются тувинцы, буряты и монголы. На рис. видно, что проекции геномов последних образуют единый кластер, обозначенный как ЮСМ. Последний расположен в верхней левой четверти рис., так же как и народы Обско-Таймырского региона (ОТР). Это показывает положительную корреляцию генетических маркеров народов ЮСМ и ОТР. В противоположность этому облако точек народов Юго-Восточной Азии (ЮВА) на проекции находится диагонально справа от ЮСМ. Это свидетельствует о высокой отрицательной корреляции между геномами этих групп народов. Также наблюдается значительная обратная корреляция между генетическими маркерами народов ЮСМ и Северо-Востока Сибири (СВС). Важно отметить, что на данной проекции

генетические маркеры монголов и их географических соседей из Китая демонстрируют отрицательную корреляцию. В то же время по этому показателю монголы и географически отдаленные от них народы ОТР показывают незначительную положительную корреляцию. Полученные данные свидетельствуют о том, что геномы тувинцев, бурятов и монголов значительно отличаются по данным маркерам от геномов народов ЮВА и СВС. При этом геномы народов ЮСМ и

ОТР демонстрируют больше общих маркеров. Это говорит в пользу того, что в древности мог происходить поток генов между популяциями ОТР и ЮСМ. Данный поток генов в большей степени повлиял на тувинцев и в меньшей на бурятов и монголов. Геномы монголов и некоторых народов северных провинций Китая (орочоны, хэчжэ, дауры, сибо) имеют самые близкие к нулю значения для всех осей нагрузок. Из этого можно заключить, что геном монголов несет наиболее суще-

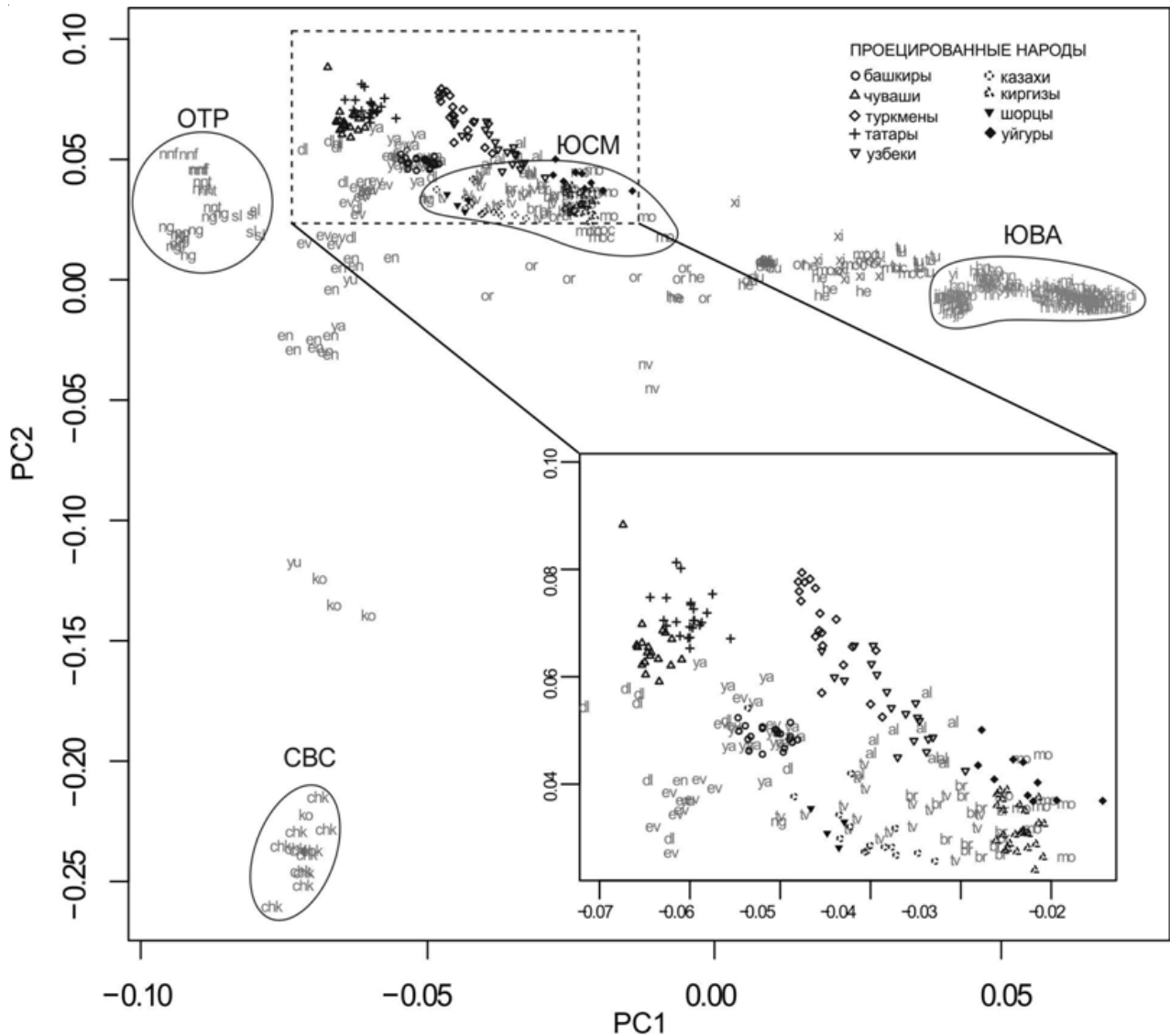


Рис. Проекция геномов восточных тюркоязычных народов на оси главных компонент изменчивости популяций Юго-Восточной Азии и Сибири. Серым цветом показаны сокращения названий следующих популяций Юго-Восточной Азии и Сибири: al – алтайцы, br – буряты, chk – чукчи, di – дайцы, dl – долганы, du – дауры, en – эвены, ev – эвенки, han – ханьцы, he – хэчжэ, hk – хакасы, jr – японцы, ko – коряки, kt – кеты, lh – лаху, mi – мяо, mo – монголы, ng – нганасаны, nnf – ненцы лесные, nnt – ненцы тундровые, nv – нивхи, px – наси, or – орононы, sh – шэ, sg – шорцы, tu – ту, tuj – туцзя, tv – тувинцы, ug – уйгуры, xi – сибо, ya – якуты, yi – и, yu – юкагиры. Условные обозначения: ОТР – Обско-Таймырский регион; ЮСМ – Южная Сибирь и Монголия; ЮВА – Юго-Восточная Азия; СВС – Северо-Восточная Сибирь, PC1-2 – оси главных компонент

ственные отличия от большинства популяций, рассматриваемых в этой работе. Вышесказанное является важным для более глубокого понимания роли народов ЮСМ в формировании геномов тюркских народов.

Рассмотрим на рис. проекции геномов тюркских народов относительно координат других народов Азии. Это позволит оценить предковый компонент из ЮСМ в соотношении с вкладом других народов, с которыми исторически взаимодействовали рассматриваемые тюркские народы в процессе миграций.

На рис. видно, что облака точек тюркских народов расположились диагонально: от киргизов в нижнем правом углу до чувашей в верхнем левом углу. Облако точек геномов киргизов перекрывается с таковыми монголов и бурятов. Такое расположение на проекции указывает на высокое сходство генетических маркеров киргизов и народов ЮСМ. Примечательно, что точки киргизов образуют плотное облако, которое не перекрывается с облаками точек других тюркских народов. Вышесказанное говорит в пользу исторических данных о сравнительно недавней миграции киргизов из ЮСМ.

На рис. видно, что облака точек чувашей и волжских татар перекрываются, что говорит о сходстве пропорций компонент ЮСМ и ОТР у данных народов. При интерпретации проекции волжских тюркских народов на графике следует исходить из их положения относительно ЮСМ и ОТР. Облако точек чуваш, татар и башкир смещено в направлении к ОТР относительно облака точек тюркских народов Центральной Азии (киргизы, узбеки, туркмены). Данное смещение координат у волжских тюркских народов по направлению к ОТР показывает, что у чувашей, татар и башкир имеется генетический компонент, общий с современными уралоязычными народами ОТР. Это также согласуется с данными байесовской кластеризации [2], которая показала, что волжские тюркские народы имеют высокий процент генетического компонента, общего для всех финно-пермских народов Поволжья, угорских народов Западной Сибири и самодийских народов ОТР. Координаты точек башкир перекрываются с якутами, эвенками и долганями. Точки эвенков и долганов кластеризуются с точками башкир незна-

чительно. При этом облака точек геномов башкир и якутов перекрываются почти полностью. Это говорит о том, что часть генома башкир, сформировавшаяся в результате потока генов из Сибири, имеет маркеры народов ОТР и ЮСМ примерно в тех же пропорциях, что и у якутов. Облако точек башкир, по сравнению с облаком татар и чуваш, смещено по направлению к ЮСМ. Таким образом, относительно других волжских тюркских народов башкиры характеризуются более высоким вкладом маркеров ЮСМ.

Рассмотрим кластеризацию точек центральноазиатских тюркских народов. На рис. видно, что проекции геномов туркменов и узбеков в значительной степени перекрываются. Облако точек узбеков имеет узкую вытянутую форму, верхняя часть которой перекрывается с туркменами, а нижняя почти доходит до популяций ЮСМ. На рис. видно, что облака точек узбеков и туркменов не плотные и имеют вытянутую форму. Это говорит о высокой изменчивости генетических маркеров по оси с нагрузкой на варьирование геномов народов ОТР. Диагонально вытянутая форма облака туркменов и узбеков указывает на наличие положительной корреляции с народами ОТР и отрицательной корреляции с народами СВС. Примечательно, что нижний конец облака туркменов и нижняя половина облака узбеков перекрываются с ЮСМ. Облако точек геномов казахов растянуто между ЮСМ и ОТР. При сравнении с башкирами облако точек казахов смещено в сторону СВС и ЮСМ. На рис. облако точек казахов выделяется тем, что оно наиболее сильно растянуто вдоль оси PC1 и сжато вдоль оси PC2. Облако точек казахов перекрывается с тувинцами.

Отдельно отметим, что облака точек чувашей, волжских татар и туркменов демонстрируют наибольшую отрицательную корреляцию с популяциями СВС. Центры облаков этих трех популяций одинаково удалены от центра популяций СВС. При этом облака точек чувашей, волжских татар и туркменов не перекрываются ни с одним из сибирских народов.

На графике условно можно выделить три группы народов. Первая группа объединяет облака точек башкир, волжских татар и чувашей. Вторая группа объединяет облака точек узбеков, туркменов. Третий – киргизов и казахов. При

рассмотрении на осях главных компонент генетической изменчивости разных народов Азии, видно, что первый кластер демонстрирует сравнительно высокую корреляцию с уралоязычными (самодийскими) народами ОТР. Вторая группа выделяется более низкой корреляцией с народами ОТР и другими сибирскими народами, и при этом демонстрирует сходство части генома с ЮСМ. Третий кластер показывает самую низкую корреляцию с народами ОТР и высокое сходство с народами ЮСМ. В то же время необходимо отметить, что образцы казахов и узбеков на проекции проявились в форме рыхлого облака, сильно вытянутого вдоль осей PC1 и PC2. Это говорит о том, что в указанных выборках одновременно присутствуют индивиды с генетическими маркерами, коррелирующими с ЮСМ, и индивиды с маркерами, коррелирующими с ОТР.

Обобщая результаты исследования, отметим, что в генофонде изученных тюркских народов присутствует генетический компонент, характерный для народов ЮСМ. Данный вывод согласуется с гипотезой о расселении древних носителей тюркских языков из Южной Сибири. При этом показано, что относительный генетический вклад популяций ЮСМ убывает в ряду: киргизы, казахи, узбеки, туркмены, башкиры, татары, чувашы. По этому ряду видно, что доля южносибирского и, вероятно, древнетюркского компонента в геноме современных тюркских народов снижается по мере географического отдаления от ЮСМ. Также нами было показано, что в геноме волжских татар, чувашей и башкир обнаруживается значительное влияние генетического компонента, характерного для самодийских народов ОТР. В геноме волжских тюрков доли генетических компонентов ОТР и ЮСМ сопоставимы. В геноме узбеков и туркменов обнаруживается менее выраженное, чем у волжских тюрков, влияние генетических компонентов народов ОТР и более сильное влияние ЮСМ. Геномы казахов и киргизов среди рассмотренных тюркских народов демонстрируют наиболее высокое сходство с таковыми народов ЮСМ.

#### Литература

1. Findley C.V. The Turks in world history. New York: Oxford University Press. 2004. 320 p.

2. Yunusbayev B., Metspalu M., Metspalu E., Valeev A., Litvinov S., Valiev R., Akhmetova V., Balanovska E., Balanovsky O., Turdikulova S., Dalimova D., Nymadawa P., Bahmanimehr A., Sahakyan H., Tambets K., Fedorova S., Barashkov N., Khidiyatova I., Mihailov E., Khusainova R., Damba L., Derenko M., Malyarchuk B., Osipova L., Voevoda M., Yepiskoposyan L., Kivisild T., Khusnutdinova E., VILLEMS R. The genetic legacy of the expansion of Turkic-speaking nomads across Eurasia // PLoS Genet. 2015. Vol. 11 (4). e1005068.

3. Берлимишева М.А., Тамбетс К., Виллемс Р., Хуснутдинова Э.К. Разнообразие гаплогрупп митохондриальной ДНК в Волго-Уральском регионе // Мол. биология. 2002. Т. 36. С. 990–1001.

4. Yunusbayev B., Metspalu M., Jarve M., Kutuev I., Rootsi S., Behar D.M., Varendi K., Sahakyan H., Khusainova R., Yepiskoposyan L., Khusnutdinova E.K., Underhill P.A., Kivisild T., VILLEMS R. The Caucasus as an asymmetric semipermeable barrier to ancient human migrations // Mol. Biol. Evol. 2012. Vol. 29 (1). P. 359–365.

5. Comas D., Plaza S., Wells R.S., Yuldaseva N., Lao O., Calafell F., Bertranpetit J. Admixture, migrations, and dispersals in Central Asia: Evidence from maternal DNA lineages. Eur // J. Hum. Genet. 2004. Vol. 12 (6). P. 495–504.

6. Quintana-Murci L., Chaix R., Wells S., Behar D., Sayar H., Scozzari R., Rengo C., Al-Zahery N., Semino O., Santachiara-Benerecetti A.S., Coppa A., Ayub Q., Mohyuddin A., Tyler-Smith C., Qasim Mehdi S., Torroni A., McElreavey K. Where West meets East: The complex mtDNA landscape of the Southwest and Central Asian corridor // Am. J. Hum. Genet. 2004. 74(5). P.827–845.

7. Rootsi S., Chaubey G., Kutuev I., Yudkovsky G., Khusnutdinova E.K., Balanovsky O., Semino O., Pereira L., Comas D., Gurwitz D., Bonne-Tamir B., Parfitt T., Hammer M.F., Skorecki K., VILLEMS R. The genome-wide structure of the Jewish people // Nature. 2010. 466 (7303). P. 238–242.

8. Nielsen R., Akey J.M., Jakobsson M., Pritchard J.K., Tishkoff S., Willerslev E. Tracing the peopling of the world through genomics // Nature. 2017. 541(7637). P. 302–310.

9. Novembre J., Stephens M. Interpreting principal component analyses of spatial population genetic variation // Nat. Genet. 2008. Vol. 40 (5). P. 646–649.

10. Ma J., Amos C.I. Principal components analysis of population admixture // PLoS ONE. 2012. Vol. 7 (7): e40115.

#### References

1. Findley C.V. The Turks in world history. New York: Oxford University Press. 2004. 320 p.

2. Yunusbayev B., Metspalu M., Metspalu E., Valeev A., Litvinov S., Valiev R., Akhmetova V., Balanovska E., Balanovsky O., Turdikulova S., Dalimova D.,

Nymadawa P., Bahmanimehr A., Sahakyan H., Tambets K., Fedorova S., Barashkov N., Khidiyatova I., Mihailov E., Khusainova R., Damba L., Derenko M., Malyarchuk B., Osipova L., Voevoda M., Yepiskoposyan L., Kivisild T., Khusnutdinova E., Villems R. The genetic legacy of the expansion of Turkic-speaking nomads across Eurasia // *PLoS Genet.* 2015. Vol. 11 (4). e1005068.

3. Bermisheva M., Tambets K., Villems R., Khusnutdinova E. Diversity of mitochondrial DNA haplotypes in ethnic populations of the Volga-Ural region of Russia. *Molekulyarnaya biologiya*, 2002, vol. 36 (6), pp. 990–1001.

4. Yunusbayev B., Metspalu M., Jarve M., Kutuev I., Rootsi S., Behar D.M., Varendi K., Sahakyan H., Khusainova R., Yepiskoposyan L., Khusnutdinova E.K., Underhill P.A., Kivisild T., Villems R. The Caucasus as an asymmetric semipermeable barrier to ancient human migrations. *Mol. Biol. Evol.*, 2012, vol. 29 (1), pp. 359–365.

5. Comas D., Plaza S., Wells R.S., Yuldaseva N., Lao O., Calafell F., Bertranpetit J. Admixture, migrations, and dispersals in Central Asia: Evidence from maternal DNA lineages. *Eur. J. Hum. Genet.*, 2004, vol. 12 (6), pp. 495–504.

6. Quintana-Murci L., Chaix R., Wells S., Behar D., Sayar H., Scozzari R., Rengo C., Al-Zahery N., Semino O.,

Santachiara-Benerecetti A.S., Coppa A., Ayub Q., Mohyuddin A., Tyler-Smith C., Qasim Mehdi S., Torroni A., McElreavey K. Where West meets East: The complex mtDNA landscape of the Southwest and Central Asian corridor. *Am. J. Hum. Genet.*, 2004, vol. 74 (5), pp. 827–845.

7. Behar D.M., Yunusbayev B., Metspalu M., Metspalu E., Rosset S., Parik J., Rootsi S., Chaubey G., Kutuev I., Yudkovsky G., Khusnutdinova E.K., Balanovsky O., Semino O., Pereira L., Comas D., Gurwitz D., Bonne-Tamir B., Parfitt T., Hammer M.F., Skorecki K., Villems R. The genome-wide structure of the Jewish people. *Nature*, 2010, vol. 466(7303), pp. 238–242.

8. Nielsen R., Akey J.M., Jakobsson M., Pritchard J.K., Tishkoff S., Willerslev E. Tracing the peopling of the world through genomics. *Nature*, 2017, vol. 541 (7637), pp. 302–310.

9. Novembre J., Stephens M. Interpreting principal component analyses of spatial population genetic variation. *Nat. Genet.*, 2008, vol. 40 (5), pp. 646–649.

10. Ma J., Amos C.I. Principal components analysis of population admixture. *PLoS ONE*, 2012, vol. 7 (7): e40115.

## PRINCIPAL COMPONENT ANALYSES OF VOLGA AND CENTRAL ASIAN TURKIC POPULATIONS GENOMES

© U.B. Yunusbaev, R.R. Valiev, B.B. Yunusbaev

Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

Patterns of genetic variation in the modern-day peoples contain rich information about the past demographic history of human populations. Here, we analyze the genomic variation patterns in the Turkic peoples linguistically related to the group of populations whose origin and demographic history remains poorly investigated. We analyzed 312,524 Illumina SNP markers genotyped in 7 Turkic-speaking populations from Central Asia and the Volga region to identify their ancestry. We used non-admixed populations from Southeast Asia and Siberia to compute principal components of Asian genomic variation. We then projected genomes of Turkic populations along the pre-computed principal components. This two-step approach allowed us to find the principal component coordinates of the projected samples based on the most variable SNP markers in the Southeast Asian and Siberian populations. Our analysis showed that the Turkic populations under study clustered closer to the South Siberian and Mongolian populations, but not to the populations from Southeast Asia and Northeast Siberia. Such clustering suggests that Turkic populations share genetic ancestry with the populations from South Siberia and Mongolia. The observed principal component coordinate variation among Turkic populations suggests that the proportion of South Siberian ancestry declines gradually with increasing geographical distance from South Siberia. The proportion of South Siberian ancestry decreases along the following line of populations: Kirgizs, Kazakhs, Uzbeks, Turkmens, Bashkirs, Tatars, Chuvashes. We also revealed fine-scale details of genetic contributions from West Siberia and South Siberia into genomes of Turkic populations. We identified equal proportion of West Siberian and South Siberian genetic components in Turkic speakers of the Volga region: Bashkirs, Tatars, Chuvashes. A higher share of South Siberian genetic components was found in genomes of Uzbeks and Turkmens. Genomes of Kirgizs and Kazakhs demonstrate the highest share of South Siberian genetic components. Our findings provide novel details about the demographic history of Turkic peoples.

Key words: whole genome analysis, genetic structure, principal component analysis, genetic ancestry.



## МЕТИЛИРОВАНИЕ ДНК РАСТЕНИЙ В СВЯЗИ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ

© Ф.Р. Гималов, Д.С. Фарафонов

Рассматриваются вопросы влияния статуса метилирования ДНК на устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды. Отмечается наличие у растений более сложной системы метилирования геномов по сравнению с метилированием у животных организмов, которая включает три консервативных семейства ДНК-метилтрансфераз: семейство MET1 – гомологи животных ДНК-метилтрансфераз типа Dnmt1, в основном поддерживающие метилирование в CG парах при репликации ДНК; хромометилазы (СМТ), модифицирующие цитозиновый остаток в тринуклеотиде CNG и участвующие как в *de novo* метилировании, так и в поддерживающем; метилтрансферазы DRM – *de novo* метилтрансферазы, катализирующие метилирование цитозиновых остатков во всех контекстах и участвующие в РНК-направляемом метилировании. Удаление метилированных оснований из ДНК может достигаться как пассивным деметилированием ДНК при репликации ДНК в отсутствие метилированных оснований, так и активным деметилированием ДНК, механизмы которого еще дискутируются.

Ключевые слова: метилирование ДНК, ДНК метилтрансфераза, устойчивость растений к стрессам.

**Введение.** Для понимания значения метилирования ДНК важно выяснить, как отражается метилирование/деметилирование на последующие процессы, такие как изменение структуры хроматина и регуляция экспрессии генов. Одним из механизмов такого влияния является изменение гибкости нити ДНК при метилировании и дальнейшее изменение позиционирования нуклеосом [1], что отражается на доступности ДНК для различных факторов, вовлеченных в регуляцию транскрипции. На экспрессию генов у эукариот значительное влияние оказывает структура хроматина, зависящая от процессов так называемой эпигенетической регуляции, в частности, от модификаций гистонов и метилирования ДНК. Например, экспрессия генов подавляется в плотно упакованном гетерохроматине и активируется в менее конденсированном эухроматине [2, 3]. Изменения в структуре хроматина могут быть обусловлены включением необычных гистоновых белков (вариантов гистонов) и ковалентными модификациями в гистоновых белках, а также добавлением метильной группы непосредственно к цитозинового основанию в матрице ДНК (мети-

рование ДНК) [4]. Таким образом, хроматин можно рассматривать как динамический полимер, который может усиливать сигналы, поступающие из внешней среды, определяя, в конечном счете, какие гены должны экспрессироваться, какие нет.

Метилирование ДНК как общая эпигенетическая модификация в геномах растений и животных является мощным механизмом регуляции экспрессии генов. В литературе обсуждаются две парадигмы относительно метилирования ДНК: одна утверждает наличие механизма включения/выключения генов при полном метилировании или деметилировании регуляторных участков генома; по второй метилирование ДНК тонко регулируется, часто под влиянием окружающей среды, и ассоциация метилирования ДНК и наблюдаемого фенотипа опосредована небольшими изменениями в уровне метилирования (1–5%) в единичных CpG или ограниченных участках генома [5]. Как правило, метилирование в эукариотических ДНК происходит в 5-м положении пиримидинового кольца цитозина [6]. В растительных мРНК обнаружены также метилированные аденозины [7]. О биологическом значении метилиро-

ГИМАЛОВ Фуат Рамазанович – д.б.н., Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра РАН, e-mail: gimalov@anrb.ru

ФАРАФОНТОВ Дмитрий Сергеевич – к.б.н., ОАО «Фармстандарт-УфаВИТА», e-mail: dfarafontov@gmail.com

вания цитозина в растениях свидетельствуют наблюдения за изменениями уровня метилирования в процессе развития растений и патогенной инфекции, а также корреляция с подавлением транскрипции [8, 9]. У млекопитающих эта модификация происходит в динуклеотидах CG, у растений известны также другие паттерны метилирования – симметричные CNG и асимметричные CNN [10, 11]. В некодирующих районах и в транспозонах метилированных цитозинов больше, чем в активных генах [12]. При этом для кодирующих регионов растений характерно CG метилирование, а в мобильных элементах присутствуют иные типы метилирования (CNG и CNN) [11]. Метилирование в 5'-участке гена (включая промотор и часть транскрибируемого региона) и в 3'-участке (включая транскрибируемую часть, а также 3'-фланкирующую последовательность) может приводить к ингибированию экспрессии [13–15]. Наименее выраженные гены, вероятнее всего, метилированы, а сильно экспрессирующиеся – деметилированы [16].

**Метилирование ДНК растений.** В растениях обнаружено больше ДНК-метилтрансфераз по сравнению с животными клетками. Растительные ДНК-метилтрансферазы можно сгруппировать в три консервативных семейства [8]. Семейство MET1 – гомологи животных ДНК-метилтрансфераз типа Dnmt1. Большинство из них поддерживают метилирование в CG парах при репликации ДНК. Гены этих метилтрансфераз экспрессируются во всех органах, а сами гены практически не метилированы. Хромометилазы (CMT) – второй класс ДНК-метилтрансфераз у растений [8]. Метилазы этого класса модифицируют цитозиновый остаток в тринуклеотиде CNG, они участвуют как в *de novo* метилировании, так и в поддерживающем. Их истинная функция еще не до конца ясна, однако известно, что мутантные по этим генам растения отличаются реактивацией некоторых молчащих транспозонов. Метилтрансферазы DRM – третье семейство метилаз растений. Они обычно рассматриваются как *de novo* метилтрансферазы, катализирующие метилирование цитозиновых остатков во всех контекстах, и участвуют в РНК-направляемом метилировании [17]. DRM метилтрансферазы являются главным ферментом,

осуществляющим метилирование цитозина *de novo*, т.е. в отсутствие метилированного остатка на комплементарной цепи ДНК. Также эти метилазы модифицируют остатки цитозина в несимметричных сайтах, когда на комплементарной нити ДНК вообще нет цитозиновых остатков. Они вовлечены в РНК-направленное метилирование и инактивацию генов [8].

РНК-направленное метилирование ДНК (RdDM) связано, главным образом, с CNG и несимметричным метилированием (редким у животных) кодирующих и промоторных регионов молчащих генов [18–20]. Растения же обладают выраженным метилированием в CNG и CNN последовательностях, которые вовлечены в РНК-направляемое метилирование ДНК [8]. РНК-направленное метилирование ДНК цитозиновых остатков происходит специфично в участках ДНК, комплементарных направляющей РНК, что приводит к образованию РНК-ДНК дуплекса, который, в свою очередь, может выступать в качестве сильного и весьма специфичного сигнала для *de novo* метилирования ДНК. В этих участках можно обнаружить метилирование остатков цитозина во всех возможных симметричных и несимметричных сайтах на обеих цепях ДНК. Уровень метилирования постепенно снижается по мере удаления от предполагаемого РНК-ДНК дуплекса [18, 19]. Ген-специфичные предшественники dsRNA служат сигналом для метилирования чаще, чем малые РНК (smRNA) [21, 22]. У растений табака, гороха и арабидопсиса был установлен сайленсинг гена посредством dsRNA-вызываемого метилирования ДНК промотора. Гены метилтрансфераз DRM и CMT3 участвуют в инициации и поддержании RdDM. Ни *drm*, ни *cm3* мутации не влияли на поддержание предсоставленного РНК-направленного метилирования CG. Однако *drm* мутанты показали практически полную потерю асимметричного метилирования и частичную потерю CNG метилирования. Остальное ассиметричное и CNG метилирование зависело от активности CMT, это свидетельствует об избыточном действии DRM и CMT3 для поддержания метилирования в отличных от CG сайтах. Эти метилтрансферазы находятся ниже siRNA в регуляторной цепи, так как тройные мутанты *drm1drm2drm3* отличаются полным отсут-

ствием не-CG метилирования и повышенным уровнем siRNA. Активность DRM необходима для первоначального установления RdDM во всех сайтах, включая CG, CNG и CNN [23].

Действие RdDM связано с инактивацией транскрипции и устойчивости к вирусам. Прямые взаимодействия РНК-ДНК могут выступать в качестве сильного и высокоспецифичного сигнала для *de novo* метилирования ДНК, при этом длина целевой последовательности должна быть не менее 30 пн [24].

**Деметилирование ДНК.** Удаление метилированных оснований из ДНК может достигаться различными способами. Пассивное деметилирование ДНК происходит при репликации ДНК в отсутствие метилированных оснований. Процесс активного деметилирования ДНК для растительных объектов описан достаточно подробно [25], в то время как у животных подобные механизмы еще дискутируются [26]. Например, у арабидопсиса обнаружен ген DEMETER (*DME*), который кодирует белок с гликозилазной активностью [25]. *DME* активирует ген *MEA*, удаляя 5-метилцитозиновые остатки из последовательностей ДНК, прилегающих к кодирующему участку [27]. Еще одна метилцитозин-специфичная гликозилаза ROS1 идентифицирована при скрининге мутаций, влияющих на регуляцию активности гена *RD29A* в трансгенных линиях арабидопсиса [28]. ROS1 белок гидролизует метилированную ДНК. Обе гликозилазы, *DME* и ROS1, удаляют метилцитозин как из метилированных CG сайтов, так и CNG и CNN сайтов.

**Статус метилирования и ответы растений на факторы среды.** Будучи прикрепленными организмами, растения вынуждены приспосабливаться к неблагоприятным условиям среды посредством активации молекулярных механизмов, меняющих уровень экспрессии определенных генов, что увеличивает их шансы на выживание в данных условиях [29]. В транскрипционную и посттранскрипционную регуляцию экспрессии генов, имеющих важное значение в стрессовом ответе, вносят свой вклад динамические изменения свойств хроматина и синтез малых РНК [30]. Экологические и генетические раздражители,

которые вызывают изменения статуса метилирования в жизненном цикле растения, могут также создавать новые эпигенетические варианты и влиять на последующие поколения. Из-за того, что репродуктивные линии клеток у растений развиваются из соматических тканей на протяжении всей жизни организма, геномные изменения, происходящие в течение этого жизненного цикла, могут быть переданы его потомству. Все это определяет биологическое значение метилирования цитозина в ДНК растений. Об этом же свидетельствует динамика его уровня во время развития растений и инфекции патогенами: уровень метилирования ДНК, обеспечивающий контроль экспрессии некоторых защитных генов в нормальных условиях, может динамично измениться в ответ на внешние воздействия и тем самым изменить экспрессию генов [31, 32]. Показано, что некоторые биотические и абиотические воздействия способны изменять статус метилирования ДНК. В работе González et al. [33] у растений томата показано изменение статуса метилирования низкокопийного протеин-кодирующего гена *ASR1* в ответ на засуху. В первом экзоне исследуемого гена повышалась степень метилирования по динуклеотидам CG, а содержание метильной группы в цитозинах, локализованных в асимметричных сайтах CNN некодирующей зоны, снижалось. Все это сопровождалось усилением экспрессии исследуемого гена [33].

Результаты исследования влияния низкой температуры на степень метилирования ДНК гена *CBF* цветной капусты сорта Альфа (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) [34] демонстрируют уменьшение степени метилирования ДНК при холодной обработке растений, сопровождающееся увеличением экспрессии гена. Данный факт согласуется с концепцией взаимосвязи уровня экспрессии генов и степени метилирования генома [12]. Также показано, что содержание метилцитозинов в последовательности ДНК промотора генов *CBF*, снижающееся у растений, прошедших этап холодового закаливания, при снятии стрессовых условий возвращается к исходному уровню [35].

Таким образом, уровень химической модификации хроматина не является статичным, в частности, уровень метилирования ДНК может претерпевать определенные изменения, вызывая

изменения структуры хроматина. Эти изменения часто взаимосвязаны с модуляцией экспрессии генов [36] и обратимы [37]. Модификации хроматина могут отражать изменения в количестве транскрипционно активного и конденсированного транскрипционно неактивного хроматина [38]. При перемещении растений в нормальные температурные условия роста наблюдается обратная картина. Очевидно, при неблагоприятных температурных условиях у теплолюбивого растения сои часть хроматина перестает быть транскрипционно активной за счет модификации. Однако в ответ на внешний стресс у растений некоторые гены активируются, и при этом наблюдается деметилирование ДНК [39]. То есть процессы гипо- и гиперметилирования могут как «включить», так и «выключить» определенные гены. Что интересно, уровень метилирования ДНК у растений, возвращенных в нормальные условия роста, не достигал первоначальных значений. Для сравнения, в культуре клеток табака метилирование CNG гетерохроматина изменялось в ответ на осмотический стресс, но этот процесс оказался обратимым [40]. У растений табака выявлялись гены, накопление транскриптов которых было обусловлено гипометилированием [41]. Десять из них были связаны с ответом растений на стрессовые воздействия. В культурах клеток амурского винограда *V. amurensis* показано, что экспрессия генов стильбенсинтаз зависит от уровня цитозинового метилирования последовательностей этих генов [42]. Это подтверждает важную роль метилирования ДНК в контроле координированной экспрессии генов во время развития и в ответе на стресс.

Таким образом, исследования последних лет показывают, что метилирование ДНК и гистонов вовлечено в регуляцию множества генетических функций, включая транскрипцию, репликацию, репарацию ДНК, клеточную дифференциацию. Потеря метилирования коррелирует с транскрипционной и транспозирующей активностью транспозонов, которые, в свою очередь, могут вызвать генные мутации и фенотипические изменения [43]. Метилирование ДНК сказывается на сайленсинге генов, экспрессии трансгенов и чужеродной ДНК в клетке [44] а также в системном иммунном ответе [45]. Реорганизация хроматина как результат метилирования/деметилирования ДНК

и ацетилирования/деацетилирования гистонов может приводить к изменениям в экспрессии некоторых генов за счет их ингибирования или, наоборот, индукции, в благоприятных или неблагоприятных внешнесредовых условиях.

В результате улучшения методологии анализа растительных геномов получены интересные данные о механизмах регулирования метилирования ДНК, были обнаружены новые компоненты, участвующие в таком регулировании. Однако молекулярные механизмы функционирования различных факторов, вовлеченных в процесс регуляции метилирования и их взаимодействие, остаются еще во многом неизученными. С использованием результатов полногеномных анализов локус-зависимого метилирования и деметилирования предстоит выяснить механизмы взаимодействия регуляторных белков с их целевыми локусами. Следовательно, наши познания взаимосвязей между метилированием ДНК и контролем транскрипции расширяются, но еще далеки от полной ясности.

### Литература

1. Segal E., Widom J. What controls nucleosome positions? // *Trends Genet.* 2009. V. 25(8). P. 335–343.
2. Zhang H., Zhu J.K. RNA-directed DNA methylation // *Curr. Opin. Plant Biol.* 2011. V. 14(2). P. 142–147.
3. Saze H., Tsugane K., Kanno T., Nishimura T. DNA methylation in plants: relationship to small RNAs and histone modifications, and functions in transposon inactivation // *Plant Cell Physiol.* 2012. V. 53(5). P. 766–784.
4. Эллис С.Д., Дженювейн Т., Рейнберг Д.П. Эпигенетика. Глава 3. Общий обзор и основные понятия. М: Техносфера, 2010. С. 33–65.
5. Leenen F.A.D., Muller C.P., Turner J.D. DNA methylation: conducting the orchestra from exposure to phenotype? // *Clinical Epigenetics.* 2016. V. 8, No 92. DOI 10.1186/s13148-016-0256-8.
6. Ванюшин Б.Ф. Эпигенетика сегодня и завтра // *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2013. Т. 17, № 4/2. С. 805–832.
7. Fray R.G., Simpson G.G. The Arabidopsis epitranscriptome // *Curr. Opin. Plant Biol.* 2015. V. 27. P. 17–21.
8. Ванюшин Б.Ф. Метилирование ДНК у растений. Механизмы и биологическая роль // М.: Наука, 2009. С. 77.
9. Zemach A., Grafi G. Methyl-CpG-binding domain proteins in plants: interpreters of DNA

- methylation // Trends in Plant Science. 2007. V. 12, No. 2. P. 80–85.
10. Chen M., Lv S., Meng Y. M. Epigenetic performers in plants // Dev. Growth Differ. 2010. V. 52(6). P. 555–566.
  11. Zemach A., McDaniel I.E., Silva P., Zilberman D. Genome-wide evolutionary analysis of eukaryotic DNA methylation // Science. 2010. V. 328(5980). P. 916–919.
  12. Bird A. DNA methylation patterns and epigenetic memory // Genes and Development. 2002. V. 16. P. 6–21.
  13. Ikeuchi M., Iwase A., Sugimoto K. Control of plant cell differentiation by histone modification and DNA methylation // Curr. Opin. Plant Biol. 2015. V. 28. P. 60–67.
  14. Gehring M., Henikoff S. DNA methylation dynamics in plant genomes // Biochim. Biophys. Acta. 2007. V. 1769(5–6). P. 276–286.
  15. Zilberman D., Gehring M., Tran R.K., Ballinger T., Henikoff S. Genome-wide analysis of Arabidopsis thaliana DNA methylation uncovers an interdependence between methylation and transcription // Nat. Genet. 2007. V. 39(1). P. 61–69.
  16. Grativol C., Hemerly A.S., C.Ferreira P. Genetic and epigenetic regulation of stress responses in natural plant populations // Biochim. Biophys. Acta. 2012. V. 1819(2). P. 176–185.
  17. Lukens L.N., Zhan S. The plant genome's methylation status and response to stress: implications for plant improvement // Curr. Opin. Plant Biol. 2007. V. 10(3). P. 317–322.
  18. Mette M.F., Aufsatz W., van der Winden J., Matzke M.A., Matzke A.J. Transcriptional silencing and promoter methylation triggered by double-stranded RNA // EMBO J. 2000. V. 19(19). P. 5194–5201.
  19. Wassenegger M. RNA-directed DNA methylation // Plant Mol. Biol. 2000. V. 43(2–3). P. 203–220.
  20. Chan S.W., Zilberman D., Xie Z., Johansen L.K., Carrington J.C., Jacobsen S.E. RNA silencing genes control de novo DNA methylation // Science. 2004. V. 303(5662). P. 1336.
  21. Mallory A.C., Mallory A.C., Ely L., Smith T.H., Marathe R., Anandalakshmi R., Fagard M., Vaucheret H., Pruss G., Bowman L., Vance V.B. HC-Pro suppression of transgene silencing eliminates the small RNAs but not transgene methylation or the mobile signal // Plant Cell. 2001. V. 13(3). P. 571–583.
  22. Melquist S., Melquist S., Bender J. Transcription from an upstream promoter controls methylation signaling from an inverted repeat of endogenous genes in Arabidopsis // Genes Dev. 2003. V. 17(16). P. 2036–2047.
  23. Cao X., Aufsatz W., Zilberman D., Mette M.F., Huang M.S., Matzke M., Jacobsen S.E. Role of the DRM and CMT3 methyltransferases in RNA-directed DNA methylation // Curr. Biol. 2003. V. 13(24). P. 2212–2217.
  24. Pelissier T.A., Wassenegger M. DNA target of 30 bp is sufficient for RNA-directed DNA methylation // RNA. 2000. V. 6(1). P. 55–65.
  25. Choi Y., Gehring M., Johnson L., Hannon M., Harada J.J., Goldberg R.B., Jacobsen S.E., Fisher R.L. DEMETER, a DNA glycosylase domain protein, is required for endosperm gene imprinting and seed viability in Arabidopsis // Cell. 2002. V. 110. P. 33–42.
  26. Ooi S.K.T., Bestor T.H. The colorful history of active DNA demethylation // Cell. 2008. V. 133. P. 1145–1148.
  27. Gehring M., Huh J.H., Hsieh T.F., Penterman J., Choi Y., Harada J.J., Goldberg R.B., Fischer R.L. DEMETER DNA glycosylase establishes MEDEA polycomb gene self-imprinting by allele-specific demethylation // Cell. 2006. V. 124(3). P. 495–506.
  28. Gong Z., Morales-Ruiz T., Ariza R.R., Roldan-Arjona T., David L., Zhu J.K. ROS1, a repressor of transcriptional gene silencing in Arabidopsis, encodes a DNA glycosylase/lyase // Cell. 2002. V. 111(6). P. 803–814.
  29. Dubrovina A.S., Kiselev K.V., Zhuravlev Yu.N. The canonical and noncanonical pre-mRNA splicing in plant stress responses // BioMed. Research International. 2013. V. 2013. ID 264314. P. 1–14.
  30. Mirouze M., Paszkowski J. Epigenetic contribution to stress adaptation in plants // Curr. Opin. Plant Biol. 2011. V. 14(3). P. 267–274.
  31. Vanyushin B.F., Ashapkin V.V. DNA methylation in higher plants: past, present and future // Biochim. Biophys. Acta. 2011. V. 1809(8). P. 360–368.
  32. Downen R.H., Pelizzola M., Schmitz R.J., Lister R., Downen J.M., Nery J.R., Dixon J.E., Ecker J.R. Widespread dynamic DNA methylation in response to biotic stress // Proceedings of the National Academy of Sciences of USA. 2012. V. 109, No 32. P. E2183–E2191, DOI: 10.1073/pnas.1209329109.
  33. Gonzalez R.M., Ricardi M.M., Iusem N.D. Atypical epigenetic mark in an atypical location: cytosine methylation at asymmetric (CNN) sites within the body of a non-repetitive tomato gene // BMC Plant Biol. 2011. V. 11(1). P. 94.
  34. Гималов Ф.Р., Фарафонов Д.С., Чемерис Д.А., Матниязов Р.Т., Чемерис А.В. Изменение степени метилирования ДНК промоторной области CBF-гена капусты *Brassica oleracea* L. при холодной акклимации // Вестник Башкирского университета. 2012. Т. 17, № 1. С. 82–85.
  35. Гималов Ф.Р., Фарафонов Д.С., Матниязов Р.Т., Чемерис А.В. Степень метилирования ДНК промоторной области CBF-гена цветной капусты *Brassica oleracea* L. при различных температурных условиях выращивания // Вестник Башкирского университета. 2012. Т. 17, № 4. С. 1749–1752.

36. Nelissen H., Boccardi T.M., Himanen K., Van Lijsebettens M. Impact of Core Histone Modifications on Transcriptional Regulation and Plant Growth // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2007. V. 26. P. 243–263; Steward N., Ito M., Yamaguchi Y., Koizumi N., Sano H. Periodic DNA methylation in maize nucleosomes and demethylation by environmental stress // *J. Biol. Chem.* 2002. V. 277(40). P. 37741–37746.
37. Chen Z.J., Tian L. Roles of dynamic and reversible histone acetylation in plant development and polyploidy // *Biochim Biophys Acta*. 2007. V. 1769(5–6). P. 295–307; Kovarik A., Koukalova B., Bezdek M., Opatrny Z. Hypermethylation of tobacco heterochromatic loci in response to osmotic stress // *Theor. Appl. Genet.* 1997. V. 95. P. 301–306.
38. Stepinski D. Levels of DNA methylation and histone methylation and acetylation change in root tip cells of soybean seedlings grown at different temperatures // *Plant Physiol. Biochem.* 2012. V. 61. P. 9–17.
39. Steward N., Ito M., Yamaguchi Y., Koizumi N., Sano H. Periodic DNA methylation in maize nucleosomes and demethylation by environmental stress // *J. Biol. Chem.* 2002. V. 277(40). P. 37741–37746.
40. Kovarik A., Koukalova B., Bezdek M., Opatrny Z. Hypermethylation of tobacco heterochromatic loci in response to osmotic stress // *Theor. Appl. Genet.* 1997. V. 95. P. 301–306.
41. Wada Y., Miyamoto K., Kusano T., Sano H. Association between up-regulation of stress-responsive genes and hypomethylation of genomic DNA in tobacco plants // *Mol. Genet. Genomics*. 2004. V. 271(6). P. 658–666.
42. Kiselev K.V., Tyunin A.P., Zhuravlev Y.N. Involvement of DNA methylation in the regulation of STS10 gene expression in *V. amurensis* // *Planta*. 2013. V. 237, No 4. P. 933–941.
43. Madlung A., Comai L. The effect of stress on genome regulation and structure // *Ann. Bot.* 2004. V. 94(4). P. 481–495.
44. Boyko A., Blevins T., Yao Y., Golubov A., Bilichak A., Ilnytskyi Y., Hollunder J., Meins F., Kovalchuk I. Transgenerational adaptation of Arabidopsis to stress requires DNA methylation and the function of Dicer-like proteins // *PLoS One*. 2010. V. 5(3). P. e9514.
45. Deleris A., Halter T., Navarro L. DNA methylation and demethylation in plants // *Annu. Rev. Phytopathol.* 2016. V. 54. P. 579–603.



## THE METHYLATION OF PLANT DNA IN CONNECTION WITH TOLERANCE TO ENVIRONMENTAL FACTORS

© F.R. Gimalov<sup>1</sup>, D.S. Farafontov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Scientific Center, RAS,  
Russia, 450054, Ufa, prospect Oktyabrya, 71

<sup>2</sup>Open JSC “Pharmstandard-UfaVITA”,  
Russia, 450077, Ufa, ul. Hudayberdin, 28

Influence of DNA methylation status on plant resistance to adverse environmental factors is considered. Plants have much more complicated system of methylation of genomes compared to animals, that includes three conservative families of DNA methyltransferases: MET1 family – a homologue of animals DNA methyltransferase type Dnmt1, mainly supporting methylation in CG pairs during replication of DNA; chromomethylase (CMT), modifying a cytosine in trinucleotide CNG and participating both in de novo methylation and in supporting methylation; DRM methyltransferase – de novo methyltransferases, catalyzing methylation of a cytosine in any cases and participating in RNA-directed methylation. Removing methylated bases from DNA can be arrived at by both the passive demethylation of DNA during replication of DNA in the absence of methylation groups and the active demethylation of DNA, the mechanisms of that are yet discussed.

Key words: DNA methylation, DNA methyltransferase, plants stress resistance.

УДК 612.821+159.923

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБЪЕКТИВНОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ АМПЛИТУДЫ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА

© С.А. Башкатов, Ю.М. Сотникова

Оценить степень зависимости субъективного благополучия человека от параметров зрительных вызванных потенциалов.

В исследовании приняли участие 120 человек в возрасте 18–20 лет (80 с нарушениями зрения и 40 практически здоровых лиц). Регистрация зрительных вызванных потенциалов осуществлялась при помощи 21-канального цифрового электроэнцефалографа «Нейрон – спектр – 4/П» компании «Нейрософт» (г. Иваново) и соответствующего программного обеспечения. Характеристики субъективного благополучия определяли с помощью методик: «Шкала переживания счастья» М. Фордайса; «Мера субъективного счастья» С. Любомирской; «Шкала удовлетворенности жизнью» Э. Динера. Статистическую обработку результатов исследования проводили путем попарного сравнения показателей амплитуды ответа вызванных потенциалов в группах с высокими и низкими значениями психологических показателей, рассчитывали отношения шансов (OR), а также границ доверительных интервалов.

У лиц с низкой амплитудой компонентов вызванных зрительных потенциалов установлена выраженная ассоциация между этим показателем и значительным снижением доли времени, переживаемой как счастье. Наиболее сильные ассоциации отмечались с показателями левого глаза. В случае определения «Меры субъективного счастья», демонстрирующей насколько испытуемый считает себя счастливым в целом, показатели, регистрируемые при стимуляции левого и правого глаза, свидетельствовали о том, что испытуемые с низкой амплитудой ЗВП чувствуют себя менее счастливыми, чем группа здоровых людей. По «Шкале удовлетворенности жизнью» высокие значения OR также были обнаружены в случае обследования левого и правого глаза. Выявленные закономерности позволяют констатировать низкую удовлетворенность жизнью у людей с изменениями биоэлектрической активности головного мозга.

Выявлена зависимость между характеристиками субъективного благополучия человека и показателями амплитуды вызванных потенциалов зрительного анализатора. В связи с тем, что психологическое тестирование личностными опросниками возможно только с достижения человеком юношеского возраста (16–18 лет), представляется объективно востребованным прогнозирование субъективного благополучия в более ранние возрастные периоды по результатам определения параметров вызванных зрительных потенциалов.

Ключевые слова: субъективное благополучие, амплитуда зрительных вызванных потенциалов, отношение шансов.

**Введение.** Психологическое благополучие как объект научного исследования получило широкое распространение в психологии с середины двадцатого века. Интерес к изучению психологического благополучия личности усилился с появлением позитивной психологии, целью которой являются ресурсы, потенциал личности, ее позитивное функционирование. Основная концепция позитивной психологии заключается в том, что изучение закономерностей оптимальной благопо-

лучной жизни и деятельности должно представлять собой отдельное поле психологических исследований [1]. Структура субъективного благополучия все чаще становится предметом научных исследований в связи с необходимостью выявления оснований внутреннего равновесия личности. На сегодняшний день изучение субъективного благополучия позволяет существенно продвинуться в решении задач сохранения физического и психического благополучия, обуславлива-

БАШКАТОВ Сергей Александрович – д.б.н., к.псих.н., Башкирский государственный университет, e-mail: s\_bashkatov@list.ru

СОТНИКОВА Юлия Михайловна, Башкирский государственный университет, e-mail: sotnikova-bashedu@mail.ru

ющих повышение субъективного качества жизни. При этом не вызывает сомнений, что неотъемлемой частью благополучия личности является здоровье человека [2].

В практической психологии благополучие человека определяют с помощью тестирования личностными опросниками. Существенным недостатком психологического тестирования благополучия является то, что оно может проводиться только при достижении обследуемыми юношеского возраста (16–18 лет). В этой связи представляется целесообразным поиск объективных физиологических критериев, позволяющих прогнозировать субъективное благополучие в более ранние возрастные периоды.

Зрение человека (зрительное восприятие) – процесс психофизиологической обработки изображения объектов окружающего мира, осуществляемый зрительной системой и позволяющий получать представление о величине, форме (перспективе) и цвете предметов, их взаимном расположении и расстоянии между ними. По разным данным, от 70 до более 90% информации человек получает с помощью зрения. Человек видит не глазами, а посредством глаз, откуда информация передается через зрительный нерв, хиазму, зрительные тракты в определенные области затылочных долей коры головного мозга, где формируется та картина внешнего мира, которую мы видим. Все эти органы и составляют зрительный анализатор или зрительную систему [3].

Одним из немногих объективных методов, позволяющих оценить функциональное состояние проводящих структур и корковых областей зрительного анализатора, является метод зрительных вызванных потенциалов. Исследование дает возможность получить объективную информацию о состоянии зрительного нерва, объективно оценить остроту зрения и ее корригируемость. Оно также позволяет провести дифференциальную диагностику функциональных и органических нарушений, тестировать состояние нарушения зрительного тракта и коры, нарушения полей зрения, наличие патологии в зрительной специфической и неспецифической афферентации у больных с нарушениями сознания [4].

С учетом вышеизложенного нами была выдвинута гипотеза о существовании ассоциации

субъективного благополучия человека с эффективностью функционирования зрительного анализатора, оцениваемой методом вызванных потенциалов.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 120 человек в возрасте 18–20 лет. По результатам сбора клинического анамнеза была сформирована экспериментальная группа в количестве 80 человек с различными нарушениями функций зрительной системы (частичная атрофия зрительного нерва, демиелинизирующие заболевания, миопия, аневризмы сосудов головного мозга, черепно-мозговые травмы) и контрольная группа, включающая 40 практически здоровых лиц. Регистрация зрительных вызванных потенциалов осуществлялась при помощи 21-канального цифрового электроэнцефалографа «Нейрон – спектр – 4/П» компании «Нейрософт» (г. Иваново) и соответствующего программного обеспечения. Для записи активные электроды размещали над затылочной областью O1 и O2 по международной системе «10–20», в точке Cz (референтный) и в точке Fpz (заземляющий). Импеданс под электродами не превышал 5 кОм. Для стимуляции использовался реверсивный шахматный паттерн с размером ячеек 30 угловых минут, который наиболее эффективно тестирует центральное (макулярное) зрение. Экран располагался на расстоянии 1.5 м от испытуемого. Проводилась монокулярная стимуляция с фиксацией взгляда на центральную точку. Обследование проводилось в затемненном помещении. Для отчетливого восприятия фиксационной точки в центре экрана и получения максимальной амплитуды ответа при необходимости сохранения яркости и контрастности испытуемые использовали очки и линзы. Генератор основного компонента зрительных вызванных потенциалов располагается в окципитальной коре, однако его характеристики (амплитуда) могут изменяться в результате поражения на любом участке зрительного пути – от сетчатки до самой зрительной коры. Для выделения ответов использовали 200 усреднений при частоте реверсии 2 Гц, эпоха анализа 500 миллисекунд. Выделяли 3 основных колебания – N75, P100 и N145 (негативное 75 мс, позитивное 100 мс и снова негативное на 145 мс). Основное внимание обращали на амплитуду компонента P100 [5].



Статистическую обработку результатов исследования проводили с применением программного обеспечения MS Office Excel. При попарном сравнении показателей амплитуд в группах с высокими и низкими значениями психологических показателей применялся критерий  $\chi^2$  для таблиц сопряженности 2x2 с поправкой Йейтса на непрерывность. При обнаружении статистически значимых различий ( $p < 0,05$ ) между исследуемыми выборками проводилась оценка показателя отношения шансов (odds ratio, OR), а также границ его 95% доверительного интервала (CI 95%).

Для определения уровня субъективного благополучия были использованы следующие методики: «Шкала переживания счастья» М. Фордайса; опросник «Мера субъективного счастья» С. Любомирской; «Шкала удовлетворенности жизнью» Э. Динера.

«Шкала переживания счастья» М. Фордайса (ШПС) позволяет получить уровневую характеристику счастья, главным индикатором которого выступает переживание как субъективный компонент доминирующих у человека эмоций. Методика содержит 4 субшкалы: одна как переживание счастья в целом и три – как доля времени, переживаемая как счастье, как несчастье и ни как счастье и ни как несчастье соответственно. Опросник «Мера субъективного счастья» С. Любомирской (МСС) позволяет оперативно провести самооценку полноты индивидуального счастья с помощью оценок по 4 шкалам, которые измеряют, насколько испытуемый считает себя счастливым в целом, а также по сравнению со сверстниками или другими людьми, либо не слишком счастливым по сравнению с ними. «Шкала удовлетворенности жизнью» Э. Динера и соавт. (ШУЖ) содержит одну шкалу из 5 пунктов, с которыми испытуемый выражает степень своего согласия и несогласия по 7-разрядной шкале Лайкерта. Анализ содержания утверждений позволяет отнести их к атрибутивным суждениям в отношении глобальной удовлетворенности своей жизнью без объяснения каких-либо деталей [6].

**Результаты.** Исследование ассоциации характеристик субъективного благополучия с такими показателями функционирования органа зрения, как амплитуды компонентов зрительных вызванных потенциалов головного мозга, показало,

что у респондентов с пониженной амплитудой ответа доля времени, переживаемая как счастье, в 22.25 раза меньше в случае регистрации показателей с левого глаза левого полушария ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 35.87$ ;  $n = 120$ ), чем у контрольной группы с нормальными значениями показателя. При регистрации этого же показателя с затылочной области правого полушария отношение шансов было выше в 16.00 раз по сравнению с контролем ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 29.14$ ;  $n = 120$ ).

Оценка результатов обследования правого глаза позволила констатировать, что у респондентов с низкой амплитудой ответа вызванных потенциалов доля времени, переживаемая как счастье, отличается от контрольных значений при регистрации показателей с левого полушария в 8.10 раза ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 16.43$ ;  $n = 120$ ). При регистрации этого показателя с затылочной доли правого полушария отношение шансов было выше в 6.16 раза по сравнению с контрольной группой ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 14.14$ ;  $n = 120$ ).

При сравнении испытуемых с пониженным показателем амплитуды ответов головного мозга при обследовании левого глаза левого полушария и контрольной группы с отсутствием отклонений данного показателя по шкале «Мера субъективного счастья» выявлено, что в первой группе сила переживания счастья в 6.80 раз меньше, чем во второй ( $p < 0,01$ ;  $\chi^2 = 20.13$ ;  $n = 120$ ). При обследовании того же глаза, но правого полушария, разница между ощущением счастья у лиц с пониженной амплитудой и контрольной группой составляла 5.15 ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 13.58$ ;  $n = 120$ ).

Исследование правого глаза левого полушария головного мозга показало, что испытуемые, у которых показатель амплитуды ниже нормы, чувствуют себя счастливыми в 5.25 раза меньше, чем группа, у которых отклонений не выявлено ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 15.45$ ;  $n = 120$ ). При регистрации вызванных потенциалов правого глаза правого полушария у респондентов с низкой амплитудой показатель субъективного счастья в 4.87 раза ниже, чем у относительно здоровых людей ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 14,25$ ;  $n = 120$ ).

Анализ результатов обследования левого глаза левого полушария показал, что по «Шкале удовлетворенности жизнью» у испытуемых с низкой амплитудой ответа головного мозга отноше-

ние шансов в 6.53 раза выше по сравнению с контрольной группой ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 20.78$ ;  $n = 120$ ). При регистрации этого же показателя с затылочной доли правого полушария отношение шансов было выше в 7.15 раза, чем у контроля ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 23.04$ ;  $n = 120$ ).

Обследование правого глаза левого полушария показало, что показатель удовлетворенности жизнью у лиц с низкой амплитудой в 4.08 раза выше, чем у группы с отсутствием отклонений ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 12.27$ ;  $n = 120$ ). Результаты регистрации зрительных вызванных потенциалов правого глаза правого полушария также выявили статистически значимую закономерность: удовлетворенность жизнью у испытуемых с малой амплитудой в 3.85 раза ниже, чем у группы с отсутствием отклонений по этому показателю ( $p < 0.01$ ;  $\chi^2 = 11.47$ ;  $n = 120$ ).

**Заключение.** У лиц с низкой амплитудой компонентов вызванных потенциалов установлена выраженная ассоциация между этим показателем и значительным снижением доли времени, переживаемой как счастье. Наиболее сильные ассоциации прослеживаются с показателями левого глаза. В случае определения «Меры субъективного счастья», демонстрирующей, насколько испытуемый считает себя счастливым в целом, показатели, регистрируемые при стимуляции левого и правого глаза, свидетельствуют о том, что испытуемые с низкой амплитудой ЗВП чувствуют себя менее счастливыми, чем группа относительно здоровых людей. По «Шкале удовлетворенности жизнью» высокие значения OR также были обнаружены в случае обследования левого и правого глаза, что позволяет судить о низкой удовлетворенности жизнью при таких изменениях биоэлектрической активности головного мозга.

Таким образом, выявленные нами изменения параметров зрительных вызванных потенциалов ассоциированы с характеристиками субъективного благополучия человека. В связи с тем, что психологическое тестирование личностными опросниками возможно только с достижения человеком юношеского возраста (16–18 лет), представляется объективно востребованным прогнозирование субъективного благополучия в более ранние возрастные периоды по результатам оп-

ределения параметров вызванных зрительных потенциалов.

### Литература

1. Селигман М. Путь к процветанию. Новое понимание счастья и благополучия. М.: Манн, Иванов и Фербер. 2012. С. 440.
2. Пучкова Г.Л. Субъективное благополучие как фактор самоактуализации личности: автореф. дис. ... канд. психол. наук. Хабаровск: Изд-во Хабаровского гос. ун-та, 2003. С. 24.
3. Шамшинова А.М. Клиническая физиология зрения. М.: ПБОЮЛ «Т.М. Андреева». 2002. С. 672.
4. Weinstein G.W. Clinical aspects of the visually evoked potential. Trans. Am. Ophthalmol. Soc. 1977. № 75. P. 627–673.
5. Гнездицкий В.В. Опыт применения вызванных потенциалов в клинической практике. М.: АОЗТ «Антидор». 2001. С. 480.
6. Башкатов С.А. Теоретические основания и эмпирическое исследование способов и приемов повышения характерологической позитивности и личностного благополучия с позиции позитивной психологии // Вестник ЮУрГУ. Серия «Психология». 2015. Т. 8, № 2. С. 78–87.
7. Гнездицкий В.В. Атлас по вызванным потенциалам (практическое руководство, основанное на анализе конкретных клинических наблюдений). Иваново: Изд. полигр. Комплекс «ПресСто». 2011. С. 532.
8. Зислина Н.Н. Физиологические основы и возможности использования зрительных вызванных потенциалов в дифференциальной диагностике глазных болезней // Клиническая физиология зрения: сб. науч. тр. М., 1993. С. 146–157.
9. Шамшинова А.М. Функциональные методы исследования в офтальмологии. М.: Медицина. 1999. С. 416.

### References

1. Seligman M. [The Way to Prosperity. A new understanding of happiness and well-being]. M: Mann, Ivanov and Ferber, 2012, p. 440 (in Russ.).
2. Puchkova G.L. [Subjective well-being as a factor of self-actualization of the person: the author's

abstract]. Khabarovsk: Publishing house of Khabarovsk state. University, 2013, p. 24 (in Russ.).

3. Shamshinova A.M., Yakovlev A.A., Romanova E.V. [Clinical physiology of vision]. М.: PBOYUL «ТМ. Andreev. “, 2002, p. 672 (in Russ.).

4. Weinstein G.W. Clinical aspects of the visually evoked potential / G.W. Weinstein // Trans. Am.Ophthalmol. Soc., 1977, no. 75, p. 627–673.

5. Gnezditsky V.V., Shamshinova A.M. [Experience in the use of evoked potentials in clinical practice]. М.: AOZT “Antidor”, 2001, P. 480 (in Russ.).

6. Bashkatov S.A., Gafarova N.V. [Theoretical grounds and an empirical study of ways and means of enhancing characterological positivity and personal well-

being from a position of positive psychology]. Bulletin of SUSU. Series “Psychology.”, 2015, vol. 8, no. 2. p. 78–87 (in Russ.).

7. Gnezditsky V.V., Korepina O.S. Atlas on evoked potentials [practical guidance based on the analysis of specific clinical observations]. Ivanovo: Ed. Polygraph. Complex “Pressto”, 2012, 532 p.

8. Zislina N.N., Shamshinova A.M. [Physiological bases and possibilities of using visual evoked potentials in differential diagnostics of eye diseases]. Moscow: Izd. JSC Rusomed, 1993, p. 146–157 (in Russ.).

9. Shamshinova A.M., Volkov V.V. [Functional methods of research in ophthalmology]. М.: Medicine, 1999, p. 416 (in Russ.).

---

## **CHARACTERISTICS OF SUBJECTIVE WELFARE, ASSOCIATED WITH INDICATORS OF AMPLITUDES OF CALLED POTENTIALS OF VISUAL ANALYZER**

© S.A. Bashkatov, Yu.M. Sotnikova

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

To estimate degree of dependence of subjective wellbeing of the person on parameters of the visual caused potentials.

120 people at the age of 18–20 years shared in a research (80 with disorders of vision and 40 almost healthy persons). Filing of the visual caused potentials was carried out by means of 21-channel digital electroencephalograph «Neuron-Spectrum-4 / P» of Neurosoft Company (Ivanovo) and the corresponding software. Characteristics of subjective wellbeing defined by techniques: «Scale of experience of happiness» of M. Fordyce; «Measure of subjective happiness» of S. Lyubomirskaya; «Scale of satisfaction with life» of E. Diner. Statistical processing of results of a research was carried out by paired comparison of indexes of amplitude of the answer of the caused potentials in groups with high and low values of psychological indexes, counted the odds ratios (OR) and also borders of confidence intervals.

Persons with a low amplitude of components of the caused visual potentials had the expressed association between this index and the considerable decrease in the share of time endured as happiness. The most strong associations were noted with parameters of the left eye. In case of definition «Measures subjectively of happiness», showing as far as the examinee considers himself happy in general, the indexes recorded at stimulation of the left and right eye demonstrated that examinees with a low amplitude of caused visual potentials feel less happy, than group of healthy people. By «A scale of satisfaction with life» high OR values were also found in case of inspection of the left and right eye. The revealed regularities allow to state low satisfaction with life at people with changes of bioelectric activity of a brain.

Conclusion. Dependence between characteristics of subjective wellbeing of the person and indexes of amplitude of the caused potentials of the visual analyzer was revealed. Because psychological testing by personal questionnaires perhaps only from achievement of a youthful age by the person (16–18 years), is represented objective demanded prediction of subjective wellbeing during earlier age periods by results of determination of parameters of the caused visual potentials.

Key words: subjective well-being, amplitude of visual evoked potentials, odds ratio.

УДК 904

**К ПРОБЛЕМЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ АНДРЕЕВСКОГО ГОРОДИЩА  
В ИЛИШЕВСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**

© А.Г. Колонских, А.И. Тузбеков

Целью данного исследования стала необходимость точной локализации и соотношения археологических объектов у с. Андреевка Илишевского района Республики Башкортостан. Если учесть, что первое упоминание об Андреевском городище известно с конца XIX в., а обследования площадки памятника проводились еще как минимум трижды, то вопросов о его расположении возникать не должно. Несмотря на это исследования разных лет и авторов дают понять, что либо мы имеем дело с неточностями или ошибками в описании и локализации памятника археологии, либо речь идет об абсолютно разных объектах. Методика работы предполагала проведение подробных историко-архивных исследований, использование подробных электронных топографических карт и космических снимков Земли, а также классических полевых археологических работ. Основными выводами проведенного исследования является точная локализация известного объекта археологического наследия «Андреевское городище», а также введение в научный оборот поселения «Андреевка-3, селище» ошибочно известного исследователям с 1974 г. как городище. Кроме того, полевые археологические работы позволили уточнить учетную информацию об объектах историко-культурного наследия: их сохранность, состояние, конфигурация и расположение.

Ключевые слова: городища, археология, археологический памятник, раннее средневековье, ранний железный век.

В процессе исследований специалистам-археологам часто приходится сталкиваться с проблемой локализации объектов археологического наследия. Первый этап любого археологического исследования – подготовка раздела по истории археологического изучения и историко-культурного потенциала региона. Отсутствие полного охвата имеющихся источников перед началом самостоятельных работ является основной причиной повторного выявления неверной локализации и других ошибок при описании археологических объектов. С другой стороны, исчерпывающая информация также не всегда становится гарантом верного описания памятника.

Примером неверного описания и последующей ошибочной локализации объекта археологического наследия служит Андреевское городище, расположенное в Илишевском районе Республики Башкортостан [1, с. 51; 2, с. 132–133]. Городище впервые обследовано в 1894 году Ф.Д. Нефедовым и имеет следующее описание автора: «...вверх

по Белой, за село Андреевское...» [3, с. 60]. В 1957 г. городище осматривалось А.П. Шокуровым. В соответствии с его описанием Андреевское городище расположено на 1 км восточнее села, разделено двумя площадками, первая (со стороны реки, судя по топографическому плану А.П. Шокурова) из которых укреплена круговым валом (рис. 1). Кроме того, на площадке и склонах городища А.П. Шокуровым было собрано около десятка фрагментов керамики: «...орнаментированной сплошь круглой ямкой и имеющей в тесте примесь толченых раковин» [4, с. 78–79].

Следующее упоминание городища находится в исследовании В.Ф. Генинга, посвященном пьяноборской культуре. Исследователь также фиксирует укрепленные площадки, одна из которых (внутренняя) опоясана круговым валом. В.Ф. Генинг внутреннюю площадку памятника относит к пьяноборскому времени, а постройку второго внешнего вала связывает с послепьяноборским населением. Описывая местонахождение городища,

КОЛОНСКИХ Александр Геннадьевич, Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: kontrobazz@mail.ru

ТУЗБЕКОВ Айнур Ильфатович, Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: tuzbek.80@mail.ru

исследователь ошибочно локализует его к северо-западу от села (рис. 1). Однако, притом что в соответствии с составленным им ситуационным планом топография местности указывает на расположение городища к северо-востоку от населенного пункта (конец мыса ориентирован на северо-запад) [2, с. 132–133].

В 1974 году В.А. Иванов, опираясь на описание местонахождения памятника, приведенного В.Ф. Генингом, исследует мыс к северо-западу от с. Андреевка. В ходе осмотра исследователем никаких укреплений на площадке мыса обнаружено не было, притом что в небольшом раскопе (12 кв. м) и на поверхности площадки обследованной В.А. Ивановым, были встречены фрагменты керамических сосудов, украшенных параллельными оттисками шнура [5, с. 7–9]. К тому

же в составленном им ситуационном плане прослеживается иная конфигурация мыса и ориентация конца мыса на северо-северо-восток (рис. 1).

Прояснить ситуацию позволил повторный осмотр объектов у села Андреевка. Работы, проведенные экспедиционным отрядом ИЭИ УНЦ РАН, выявили следующую ситуацию:

1) Андреевское городище, расположено в 350 м к северо-северо-востоку (азимут  $12^\circ$ ), от северо-восточного угла ограды кладбища с. Андреевка, в 365 м северо-западнее (азимут  $320^\circ$ ) фермы д. Аначево (рис. 2). На площадке памятника собран подъемный материал в виде орнаментированного и неорнаментированного венчика и четырех неорнаментированных стенок сосудов светло- и темно-коричневого цвета. Примесь в тесте четырех фрагментов представлена в виде

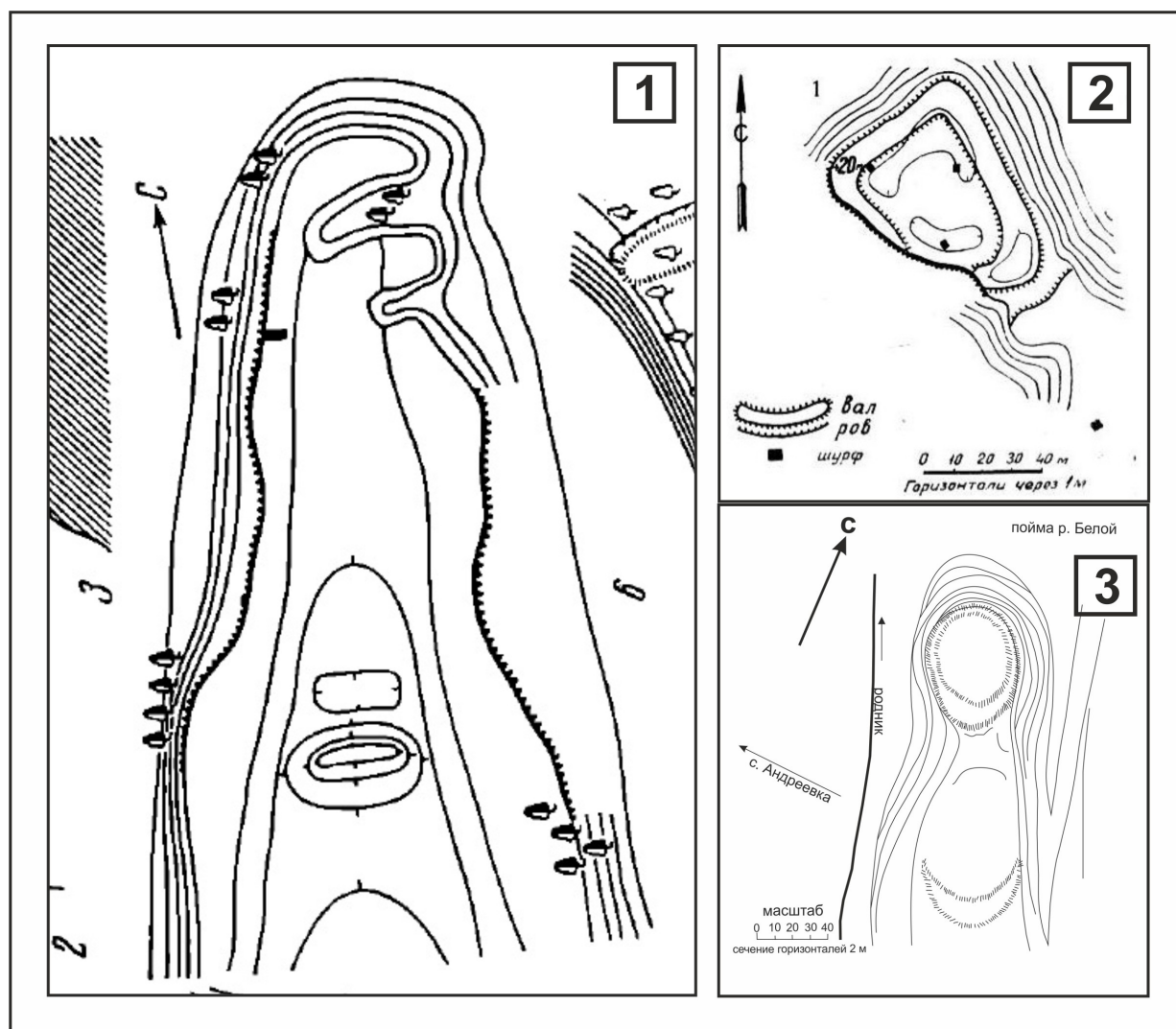


Рис. 1. Андреевское городище: 1 – план ОАН Андреевка-3, селище (Иванов, 1974); 2 – план Андреевского городища В.Ф. Генинга (1971); 3 – план Андреевского городища (топооснова А.П. Шокурова, 1957 г.)

песка и толченой раковины (рис. 3, № 1–4), два фрагмента имеют примесь в виде песка и дресвы (рис. 3, № 5–6). Стоит отметить наибольшую концентрацию подъемного материала именно на площадке между валами.

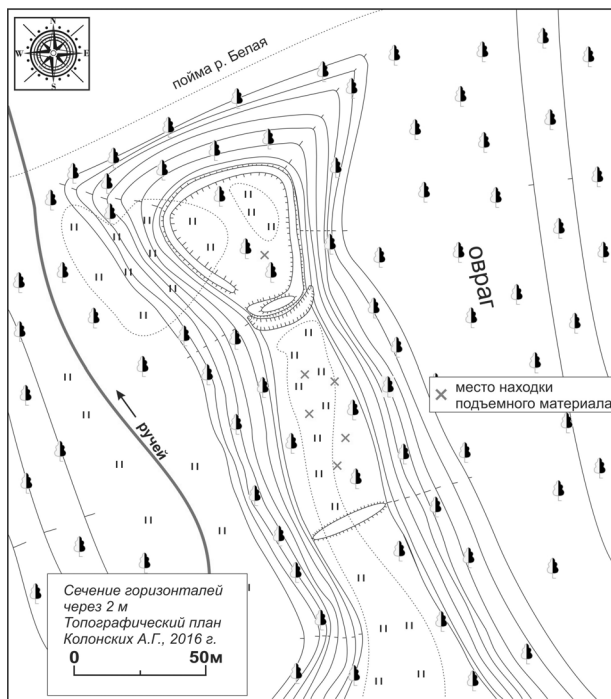


Рис. 2. Андреевское городище. Топографический план (Колонских, 2016)

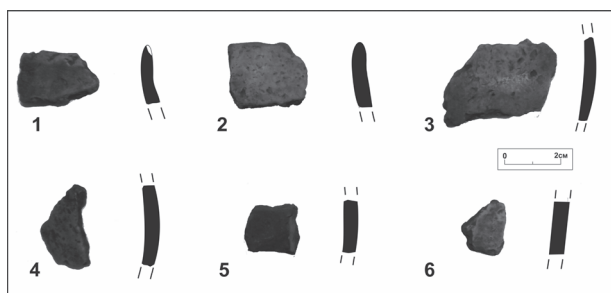


Рис. 3. Андреевское городище. Подъемный керамический материал: 1 – фрагмент орнаментированного венчика; 2 – фрагмент неорнаментированного венчика; 3–6 – фрагменты неорнаментированных стенок

2) Объект археологического наследия, осмотренный В.А. Ивановым и ошибочно названный Андреевским городищем, расположен на невысокой мысовидной площадке левого берега р. Белая в 300 м к северо-западу от с. Андреевка Илишевского района на невысокой мысовидной площадке левого берега р. Белая (рис. 4). У северо-восточной части мыса организован песча-

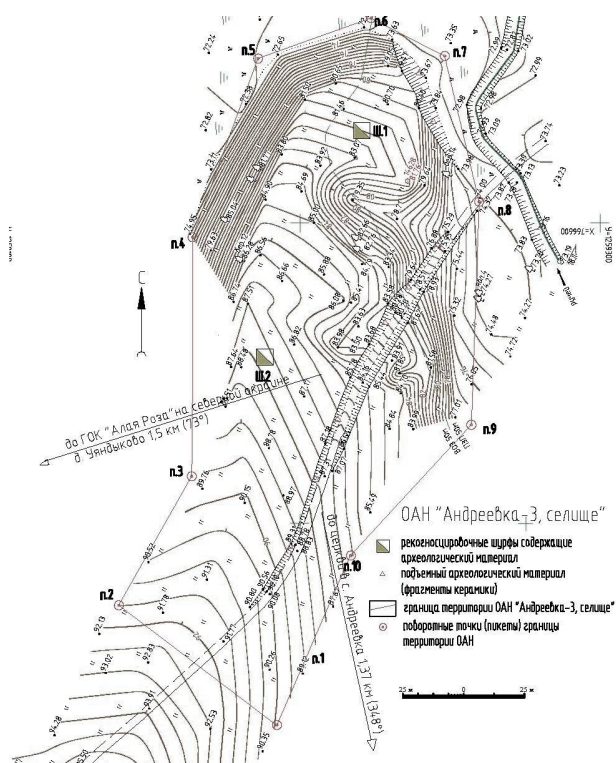


Рис. 4. ОАН «Андреевка-3, селище». Топографический план

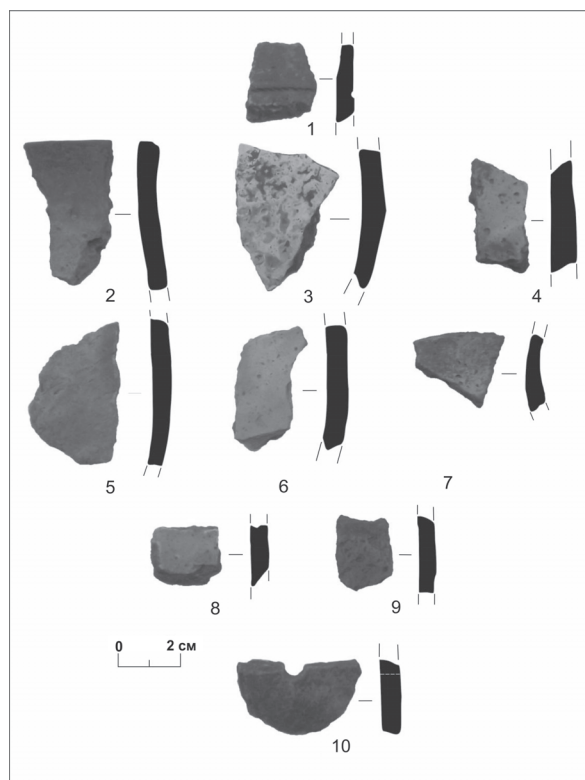


Рис. 5. ОАН «Андреевка-3, селище». Керамический материал 1–10 подъемный материал. № 1 – орнаментированная стенка; № 2 – неорнаментированный венчик; №№ 3–9 – неорнаментированные стенки; № 10 – фрагмент пряслица

ный карьер, в 900 м к северо-северо-западу от церкви с. Андреевка (азимут 348°), в 2,5 км к северо-востоку от Линейной производственно-диспетчерской станции «Андреевка» (азимут 26°). В результате проведенных исследований 2016 г. памятник археологии получил название «Андреевка-3, селище». Подъемный материал на площадке памятника, а также из двух разведочных шурфов представлен фрагментами керамики светло- и темно-коричневого цвета, орнаментированной точечными вдавлениями и следами шнурового орнамента. Примесь в тесте определяется наличием песка и толченой раковины (рис. 5–7).

Таким образом, проведенные исследования позволяют соотнести имеющуюся информацию об объектах у с. Андреевка, с реальной археологи-

ческой ситуацией и ввести в научный оборот поселенческий памятник «Андреевка-3, селище».

### Литература

1. Археологическая карта Башкирии. М.: Наука, 1976. 264 с.
2. Генинг В.Ф. История населения Удмуртского Прикамья в пьяноборскую эпоху. Часть II. Археологические памятники чегандинской культуры III в. до н.э. – II в н.э. // Вопросы археологии Урала. Вып. 11. 1971. 161 с.
3. Нефедов Ф.Д. Отчет об археологических исследованиях в Прикамье, произведенных летом 1893 и 1894 гг. // Материалы по археологии восточных губерний. М.: Императорское Московское Археологическое Общество, 1899. Т. III. С. 42–74.
4. Шокуров А.П. Отчет об археологической работе летом 1957 г. Третьего разведотряда Башкир-

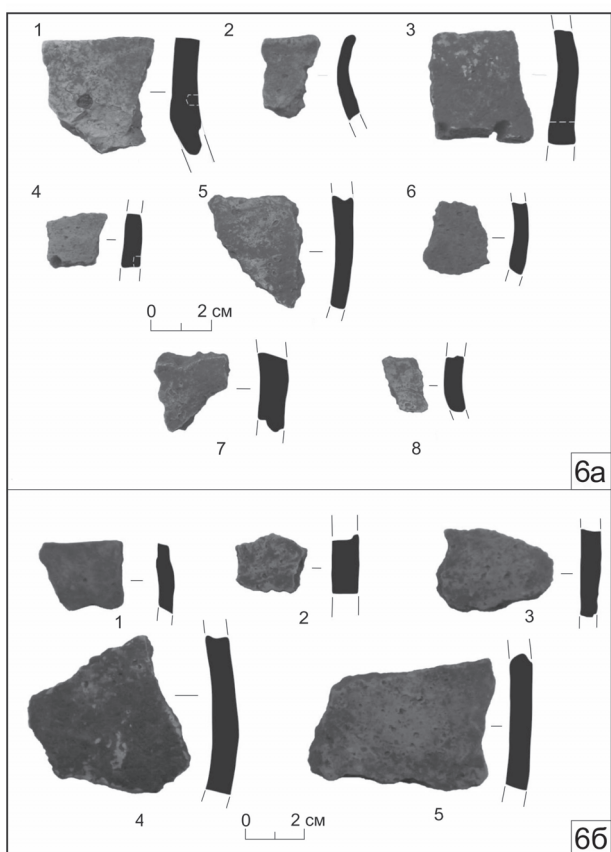


Рис. 6а. ОАН «Андреевка-3, селище». Керамический материал 1–8 рекогносцировочный шурф № 1 горизонт 1. №№ 1–3 – орнаментированные венчики сосудов; № 4 – орнаментированная стенка сосуда; №№ 5–8 – неорнаментированные стенки сосудов  
Рис. 6б. ОАН «Андреевка-3, селище». Керамический материал 1–5 рекогносцировочный шурф № 1 горизонт 2. № 1 – неорнаментированный венчик; №№ 2–5 – неорнаментированные стенки

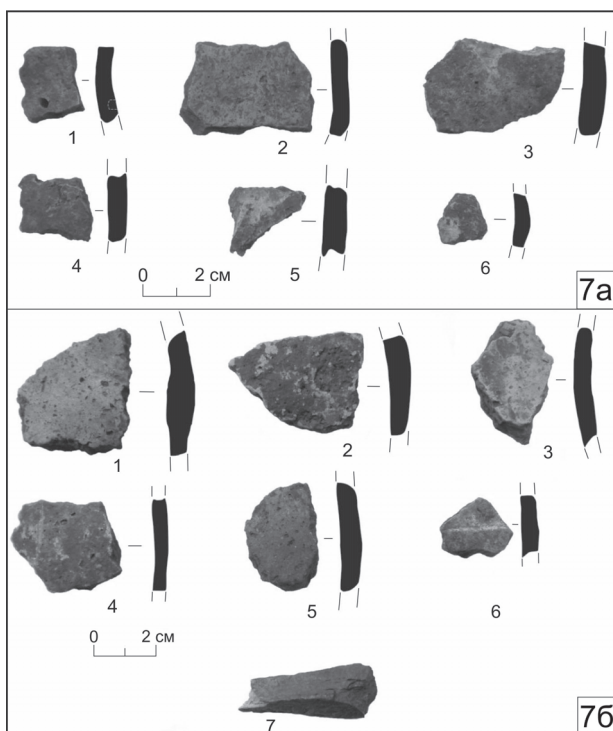


Рис. 7а. ОАН «Андреевка-3, селище». Керамический материал №№ 1–6 рекогносцировочный шурф № 2 горизонт 1. №№ 1 – орнаментированный венчик; №№ 2–6 – неорнаментированные стенки  
Рис. 7б. ОАН «Андреевка-3, селище». Керамический материал №№ 1–6, кость животного № 7 рекогносцировочный шурф № 2 горизонт 2. №№ 1–6 – неорнаментированные стенки, № 7 – кость животного

ской археологической экспедиции ИИМК АН СССР. Ч. 1 // Научно-отраслевой архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. № 1507. 93 л.

5. Иванов В.А. Отчет о раскопках памятников, расположенных в бассейне рек Белой и Уфы, по открытому листу № 327 // 1974. Научный архив АЛ БГУ. Ф. 6, д. 13.

#### References

1. Archaeological map of Bashkiria. O.N. Bader (ed.). Moscow, Nauka, 1976. 264 p.

2. Gening V.F. History of the population in the Udmurt Kama region during the Pyany Bor period. Part 2. Archaeological sites of the Cheganda culture from the 3rd century BC. to the 2nd century AD. *Voprosy arkheologii Urala*, vol. 11, 1971. 161 p.

3. Nefedov F.D. Report on archaeological investigations in the Kama region performed in summer 1893 and 1894. *Materialy po arkheologii vostochnykh guberniy*. D.N. Anuchin (ed.). Moscow, Imperatorskoe Moskovskoe Arkheologicheskoe Obshchestvo, 1899, vol. 3, pp. 42–74.

4. Shokurov A.P. Report on archaeological works performed in summer 1957 by the Third Exploration Team of the Bashkir Archaeological Expedition of the Institute of the Material Culture, Academy of Sciences of the USSR. P. 1. *Nauchno-otraslevoy arkhiv Instituta arkheologii RAN*. F-1, R-1, no. 1507. 93 l.

5. Ivanov V.A. 1974 Report on archaeological excavations of the sites located in the basin of the Belaya and Ufa rivers, according to permit 327. *Nauchnyy archive AL BGU*. Fond 6, delo 13.



## THE PROBLEM OF LOCALIZATION OF THE ANDREEVKA HILLFORT IN THE ILISHEVSKY DISTRICT OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

©A.G. Kolonskikh, A.I. Tuzbekov

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

This research is dictated by the need to precisely localize and correlate archaeological sites near the village of Andreevka in the Ilishevsky district of the Republic of Bashkortostan. If it is kept in mind that the Andreevka hillfort has been known since the late 19th century and investigated at least three times over this period, there should be no problems with its localization. Nevertheless, investigations conducted in different years and our own studies suggest that either we are dealing here with inaccuracies and mistakes in its interpretation or these sites have nothing to do with each other. Our research methods involved the most thorough work with archival data, digital topographic maps and Earth's images from space as well as conventional field archaeological survey. As a result, the Andreevka hillfort has got its precise localization and the Andreevka 3 settlement (erroneously known as a hillfort since 1974) has been introduced into scientific use. Additionally, field archaeological studies have enabled us to refine information about these sites of historical and cultural heritage, their preservation, current state, configuration and location.

Key words: hillforts, archeology, archaeological site, Middle Ages, Iron Age.



**АВТОНОМИЯ БАШКИРСКОГО ИСЛАМА:  
К 100-ЛЕТИЮ ДУХОВНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
МУСУЛЬМАН БАШКОРТОСТАНА**

© А.Б. Юнусова

Статья посвящена проблеме взаимодействия религиозного и этнического факторов в истории мусульманского сообщества России на примере истории Духовного управления мусульман Башкортостана, созданного в 1917 г., в период провозглашенной Временным правительством отмены всех национальных и религиозных ограничений и наивысшей активности башкирского национального движения.

Актуальность проблемы обусловлена отсутствием в России единой системы управления мусульманскими приходами, необходимостью объективного анализа причин создания национального духовного ведомства и его воссоздания в эпоху «парада суверенитетов» в 1992 г., задачами предупреждения межэтнических конфликтов в среде российских мусульман в условиях нарастающего потока мигрантов из стран Центральной Азии, с одной стороны, и татаризацией российского ислама, с другой.

Последовательно рассмотрены такие вопросы, как роль исламского фактора в башкирском национальном движении в 1917–1919 гг., политика Башкирской автономии в сфере религии и свободы совести, история взаимоотношений Духовного управления мусульман Башкирской АССР и Центрального духовного управления мусульман, репрессии в отношении мусульманских организаций в 30-е гг. и разгром обоих духовных управлений мусульман на территории БАССР, воссоздание башкирского духовного ведомства в 1992 г.

Статья написана на основе архивных материалов, полевых исследований и результатов пространственного анализа распределения мусульманских приходов на территории Республики Башкортостан.

Ключевые слова: ислам, башкирское национальное движение, фарман XII, духовное управление мусульман, ДУМ РБ, ЦДУМ.

*ИСЛАМ И БАШКИРСКОЕ  
НАЦИОНАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ В 1917 г.*

После Февральской революции 1917 г. Россия была едва ли не самой свободной страной в Европе. 20 марта 1917 г. Временное правительство постановило отменить все вероисповедные и национальные ограничения, а в июле приняло Закон «О свободе совести». Свобода печати была практически неограниченной, издавались сотни газет различного политического толка и на различных национальных языках. Национальные движения и политическая активность тюркских народов Внутренней России напрямую затрагивали духовную жизнь мусульман. Сам по себе ислам не являлся самостоятельной политической силой в национальном движении, ни одна из политических сил не преследовала задач исключительно религиозного характера. В рассматриваемый период демократическое движение среди тюркских народов было по сути

татарским, башкирским, казахским, общетюркским, то есть этнонациональным, но не религиозным, не исламским движением. Ислам оказал существенное влияние на этнонациональную консолидацию каждого из этих народов, особенно на духовное их формирование как национальностей, а также на объединение и активизацию представителей наций в борьбе за политико-правовое самоопределение. Такая роль ислама в национальной истории башкир и татар была значительна еще и потому, что религиозная общность почти целиком совпадала с этнонациональной: и башкиры, и татары перед Октябрьской революцией на 99% представляли собой по вероисповеданию народ мусульманский. Поэтому тюркские националисты, в том числе башкирские, не разделяли вопросы духовного и национального устройства, а национальные движения и политическая активность тюркских народов Внутренней России напрямую затрагивали духовную

жизнь мусульман, а также судьбу Оренбургского магометанского духовного собрания.

В силу объективных исторических процессов Уфимская губерния была одним из центров российского, главным образом татарского мусульманства, составляющего, – как пишет Б.Х. Юлдашбаев, – суть и ядро тюрко-мусульманского национализма [1, с. 562]. Город Уфа, – сообщают газеты в 1910 г., – с водным и железнодорожным путям, соединяющими его с другими русскими городами, является одним из видных торговых центров Восточной России. Составляя связующее звено между Европейской Россией и Сибирью, он может считаться как бы воротами последней. Если же прибавить к этому, что в Уфе находится Магометанское Духовное Собрание и что в Уфимской губернии проживает свыше полтора миллиона мусульман, то значение этого города станет еще большим [2]. Учрежденное в 1788 г. Оренбургское магометанского закона духовное собрание (ОМДС) впоследствии было известно как Центральное духовное управление мусульман Внутренней России и Сибири (1923 г.), Духовное управление мусульман Европейской части СССР и Сибири или ДУМЕС (1948 г.), и, наконец, – Центральное духовное управление мусульман России (ЦДУМ РФ) [3]. Однако при всей смене наименований оно, оставаясь в Уфе, играло большую роль как в государственно-исламских отношениях, так и в процессах внутри мусульманской уммы России.

В 1917 г. остро встал вопрос о перспективах национально-государственного переустройства тюрко-мусульманских народов России. Сам по себе ислам не являлся самостоятельной политической силой в национальном движении, ни одна из политических сил не преследовала задач исключительно религиозного характера. В рассматриваемый период демократическое движение среди тюркских народов было по сути татарским, башкирским, казахским, общетюркским, то есть этнонациональным, но не религиозным, не исламским движением. Вместе с тем тюркские националисты не разделяли вопросы духовного и национального устройства.

Образованное мусульманской фракцией Государственной Думы «Временное центральное бюро российских мусульман» подготовило Все-

российский съезд мусульман, открывшийся в Москве 1 мая 1917 г., на котором большая часть делегатов от татар Среднего Поволжья и Приуралья выступили за единую Российскую республику при экстерриториальной автономии «тюрко-татар мусульман Внутренней России и Сибири» – как некоей «наднациональной» общности – в духовной и образовательной сфере общественной их жизни. Другая группа тюрко-мусульманских националистов выдвигала альтернативный вариант – федеративное устройство Российского государства с национально-территориальными автономиями в числе субъектов федерации. Они были озабочены, естественно, национально-правовой самостоятельностью Туркестана, Казахстана, Башкортостана (Малой Башкирии). Странники федерации на московском съезде мусульман оказались заметно сильнее унитаристов: 446 голосами против 271 съезд высказался за федератизм и автономию [1, с. 37].

Последующие затем в Казани II Всероссийский съезд мусульман (21 июля–2 августа 1917 г.) и съезды мусульманских военных шуро и мусульманского духовенства (в то же время и в той же Казани) создали «Всероссийское мусульманское военное шуро» (ВОШУРО) – «Харби шуро». 22 июля 1917 г. состоялось совместное заседание делегатов всех съездов мусульман, на котором было принято решение о провозглашении культурно-национальной автономии мусульман Внутренней России и Сибири и создании Милли Идара (Национальное правление тюрко-татар Внутренней России и Сибири в составе трех ведомств – духовного, просвещения и финансов [1, с. 3–39]. Просуществовав не более года, Национальное правление тюрко-татар Внутренней России и Сибири было ликвидировано постановлением Татаро-башкирского комиссариата от 21 апреля 1918 г. [4, с. 149]. Осталось только духовное ведомство, которое в составе тех же казиев Оренбургского духовного собрания продолжало находиться в резиденции ОМДС в Уфе.

Летом 1919 г. на территории Уфимской губернии установилась Советская власть. Часть мусульманского духовенства Урала и Поволжья, занимавшего крайне непримиримую позицию по отношению к Советам, ушла вместе с армией Колчака в Сибирь. Среди них были 32 имама

Уфимского, Белебеевского, Бирского, Мензелинского, Златоустовского уездов Уфимской губернии [5, с. 42–46].

Духовное Собрание, затаившись (в буквальном смысле), с опаской ждет дальнейших действий большевистской власти. Муфтий Галимджан Баруди и казьи заняли выжидательную позицию, опасаясь санкций со стороны советской власти. Весной 1920 г. в Уфу для участия в партийной конференции прибыл Лев Троцкий. Приехавший на встречу с ним Заки Валидов побывал у муфтия. Галимджан Баруди поделился своими опасениями и спросил, не будет ли пользы, если он встретится с Троцким. «Самое лучшее для вас пока вообще не подавать голоса» – ответил Валидов [6, с. 356].

Все же в апреле 1920 г. Духовное Собрание начало подготовку созыва мусульманского съезда, намеченного на 1 июня. После долгих согласований с Наркомнацем, Наркомюстом и Уфимским губисполкомом, 16 сентября 1920 г. в Уфе открылся первый – в условиях большевистской России – Всероссийский съезд мусульман. Его участники, делегированные от семи тысяч мусульманских приходов, рассмотрели вопросы, касающиеся организации и экономической жизни приходов, подготовки кадров духовенства. Съезд проходил под контролем губернских властей [7, с. 119]. После смерти муфтия Галимджана Баруди (6 декабря 1921 г.) делами Духовного Собрания ведал Риза Фахретдинов. Ему пришлось строить отношения ведомства с советской властью, добиваться разрешения на проведение общероссийского мусульманского съезда в 1923 г. Риза Фахретдинов подготовил Устав ДУМ РСФСР, зарегистрированный НКВД 30 ноября 1923 г. Ему же приходилось решать вопросы паломничества. Получить разрешение на выезд из страны было довольно сложно, так как многие члены специально созданной при Наркомнаце «Комиссии по изучению различных религиозных течений среди мусульманского духовенства» рассматривали паломничество как «сборище всемирной мусульманской буржуазии» [7, с. 133].

### *БАШКИРСКИЙ АВТОНОМНЫЙ ДУХОВНЫЙ КУРУЛТАЙ*

Подъем башкирского национального движения, охватившего Оренбургскую и Уфимскую гу-

бернии, показал, что стремление башкир к национальной самостоятельности выходит за рамки движения за национально-территориальную автономию. Была поставлена задача автономизировать также жизнь духовную, создав собственное – национальное – мусульманское управление. Причем оно мыслилось как составная часть башкирского национального правительства. Все башкирские съезды 1917 г. признали, что во всех частях России церковь должна быть отделена от государства. Первый съезд (20–27 июля 1917 г.) принял положение о духовных школах, которые вместе с учителями должны находиться в ведении избранного населением коллегиального управления, а последнее – при духовном управлении. Какое? Было решено, что необходимо создать самостоятельное духовное управление мусульман Башкурдистана и подготовить соответствующее положение. В тот же день в Оренбурге началась работа казахского съезда, созванного по обоюдной договоренности с башкирами. На съездах прозвучали взаимные обязательства. И принятые ими постановления были созвучны по духу [1, с. 27].

Второй Башкирский съезд, состоявшийся 25–29 августа того же года, постановил, что «... до разрешения на учредительном собрании вопроса об управлении Башкурдистаном и ввиду того, что в вопросе управления духовными делами и делами просвещения интересы башкирского народа не противопоставляются интересам волжских мусульман, национальные налоги, кои будут взиматься для удовлетворения потребностей просвещения и духовных дел башкир, должны взиматься через их шуру и доставляться в Оренбургский Махкаман Ширгия» (Махкаман Ширгия – досл. с араб. – шариатский суд, – Оренбургское Магометанское Духовное Собрание).

Третий съезд состоялся 8–20 декабря 1917 г. Он был объявлен Учредительным курултаем, утвердил провозглашенную 15 ноября 1917 г. Центральным Башкирским шуру национальную автономию Башкурдистана, учредил Башкирское правительство. Постановление номер XII курултая конституирует Закон о религии:

*«1) Религия отделена от государства. Государство не обеспечивает и не назначает духовенство.*

2) *Правительство все религии в Башкурдистане признает равноправными общественными учреждениями и в общих положениях считает их одинаковыми.*

...

*Об управлении духовными делами Ислама*

1) *Мусульмане Башкурдистана организуют общее духовное управление и союз.*

2) *Основы и положения духовного управления вырабатывает духовный Курултай, но до окончательной организации общего Духовного управления и выработки основ закона, первый Курултай Башкурдистана вырабатывает временное положение.*

3) *Будущий духовный Курултай может изменить эти основы и выработать их по своему усмотрению, но все же во всех обязательствах духовный Курултай не может вынести решения против постановления Башкурдистана об отношении религии к Правительству (государству) и об основе гражданского закона.*

4) *Следующий духовный Курултай организует обложение на нужды духовных дел.*

5) *Духовное управление, будучи автономным, по своей линии имеет право открывать духовные и другие духовно-культурные и просветительные учреждения (мектебе, медресе, библиотеки и прочие)» [8, с. 69–73].*

Временное положение о Духовном управлении предусматривает выборность приходских, юртовых (волостных) и кантонных мусульманских управлений и их представительство на духовном Курултае. Каждое кантонное управление может иметь свою канцелярию, возглавляемую председателем – казыем, и самостоятельно решать религиозные вопросы. Курултай избирает Духовное управление мусульман Башкурдистана и его главу – муфтия, шейхульислама. Духовное управление само распоряжается денежными средствами, собранными в приходах Башкурдистана для пользы последних, назначает содержание муфтию, кантонным, волостным и приходским председателям управлений.

В 1918 г. обязанности председателя Духовного управления Башкурдистана исполнял известный деятель башкирского национального движения Сагит Мрясов, которого А.-З.Валидов называл «наш муфтий» [9, с. 274].

2 октября 1918 г. состоялся съезд Башкирского духовного управления, который утвердил распределение приходов по кантонным управлениям. Кантонными казиями стали: имам Бакир Гайсин (Токчуранский кантон), имам Габдрашит Гумеров (Семиродный кантон), имам Хабиб Кулуй Султангужин (Кипчакский кантон), имам Зилнур Татигачев (Юрматынский кантон), ахун Мирсаяф Алчинбаев (Усерганский кантон), имам Абубакир Хусаинов (Бурзянский кантон), имам Мухамед-Габдулхай Курбангалиев (Аргаяшский кантон), имам Ахмедвали Габдулбакиев (Яланский кантон). Председательствовал на съезде Сагит Мрясов [10].

Главные причины создания собственного независимого духовного управления заключались в стремлении иметь, с одной стороны, национальное башкирское, с другой – собственное «суверенное» ведомство как институт государственности. При этом организаторы его подчеркивали, что национальные интересы будут подчинены религиозным, а само ведомство должно быть независимым от правительства Башкортостана.

К идее создания государственной автономии разные течения башкирского национального движения относились по-разному. Известно, что в башкирской политической жизни имело место резкое противостояние между правительством Башкирской автономии Ахмед-Заки Валидова и группой сторонников Мухаммед-Габдулхая Курбангалиева\*. Часть аргаяшских башкир, придерживаясь доводов М.-Г. Курбангалиева, считала, что выделение башкирского населения в автономную часть Российской республики не должно состояться [7]. Национальное устройство башкир

\* Курбангалиев Мухамед-Габдулхай (1889–1972), религиозный деятель, сын ишана Габидуллы Курбангалиева. С войсками Колчака ушел в Сибирь, отсюда в Китай, затем в Японию. В 20–30-е гг. служил имам-хатыпом в Маньчжурии и в Японии. В Токио он построил на свои средства мечеть, медресе и типографию, оказывал помощь тем мусульманам, кому удавалось выбраться из Советской России. В 1938 г. японскими властями выслан в Маньчжурию. В августе 1945 г. советской военной разведкой был арестован в г. Далянь, осужден на 10 лет тюремного заключения, отбывал срок во Владимирской тюрьме. В 1955–1972 гг. проживал в Челябинске (Юнусова А.Б. Ислам в Башкортостане. Уфа, 1999).

мыслилось М.-Г. Курбангалиевым и его сторонниками как культурно-национальная автономия. Главной задачей, считали они, было быстрее создание автономного духовного управления. «... Особенно желательно образование самостоятельного духовного управления, чтобы выйти из подчинения татарскому магометанскому управлению, так как это было одним из источников татарского засилья над башкирами», – пишут в своем прошении от 31 октября 1918 г. в адрес министра внутренних дел Сибирского правительства М.-Г. Курбангалиев, И. Гадильшин, С. Ахмеджанов и Ш. Фахрисламов как уполномоченные вышеупомянутых волостей Челябинского уезда. С этим прошением они прибыли в Омск. Объясняя «причины, побудившие башкирский народ образовать самостоятельный Башкурдистан», Курбангалиев в личном письме в Сибирское временное правительство от 9 января 1919 г. пишет, что это: «... 1) Возможность проникновения большевистской заразы в Башкирию. 2) Возможность социализации башкирских земель. 3) Возможность татарского ига, в случае создания Общемусульманского Правительства, путем захвата власти со стороны татар». В этом же письме он сообщает, что башкиры Давлетбаевской волости постановили «... оторваться от Башкурдистана, стремясь территориально присоединиться к Сибири, так как всякие социалистические болтовни нам беспартийным чужды» [11].

Последовавшие затем политические события надолго отложили созыв духовного курултая башкир-мусульман. В феврале 1919 г. башкирские войска по соглашению между Башревкомом, возглавляемым А.-З. Валидовым и Советским правительством, перешли на сторону Красной Армии. М.-Г. Курбангалиев возглавил башкирские войска в армии Колчака. Таким образом М.-Г. Курбангалиев и А.-З. Валидов уже окончательно оказались по разные стороны фронта. Действовавшее в составе правительства автономного Башкурдистана мусульманское духовное ведомство перешло к Советам вместе с башкирскими войсками. М. Курбангалиев стал добиваться (и, заметим, добился) создания башкирского самоуправления в Белой армии с подчинением Временному Сибирскому правительству.

### *БАШРЕВКОМ, ИСЛАМ И МУСУЛЬМАНСКОЕ ДУХОВЕНСТВО*

20 марта 1919 г. была провозглашена Советская Автономная Башкирская республика – Малая Башкирия. С вхождением Малой Башкирии в Россию на правах автономной советской республики на всю ее территорию распространились законы РСФСР, в том числе и закон об отделении церкви от государства и школы от церкви. Но сложная военная обстановка не располагала к осуществлению советского законодательства. До августа 1919 г. Башвоенревком, ввиду военных действий в Башкирии, находился в разъездах, а вместе с ним и башкирское духовное ведомство (Временное Духовное управление). Башвоенревком узаконил дни мусульманских праздников как нерабочие [13], содействовал проведению ураза- и курбан-байрама в местах боевых действий. Члены духовного ведомства находились в этот сложный период на довольствии башкирского правительства.

Невозможность выйти из-под опеки правительства объясняется чрезвычайной экономической слабостью башкирских приходов в силу общей нищеты башкир в целом. Об этом писала башкирская пресса, подчеркивая, что в таких условиях башкирским приходам надо думать не об увеличении числа мечетей, а о дальнейшем образовании среди башкир, овладении прибыльными профессиями, навыками: «Не успело Духовное управление Башкортостана открыться и приступить к работе, к нему посыпались приговоры и просьбы о разделе приходов, строительства мечетей» [10].

Башкирское духовенство подготовило созыв съезда мусульман Малой Башкирии, который смог состояться только в марте 1921 г. в селе Аллагуват Стерлитамакского кантона. Съезд был провозглашен Духовным курултаем и учредил Духовное управление мусульман Башкирии – теперь уже советской. Муфтием Башкирского духовного управления был избран мугаллим Мансур Халиков\*. Башкирскому духовному управлению были подведомственны мусульманские при-

\* Халиков Мансур Хатыпович (1886–1934), муфтий ДУМ Башреспублики в 1921–1923 гг. В 1929 г. репрессирован, умер в исправительно-трудовом лагере на строительстве Магнитки в 1934 г. Посмертно реабилитирован в 1991 г.

ходы в трех кантонах Малой Башкирии – Аргаяшском, Зилаирском, Тамьян-Катайском, частично – в остальных, главным образом в Стерлитамакском. Кроме того, управление имело влияние на прилегающие казахские приходы и один мухтасибат в Татарии (территория бывшего Мензелинского уезда). Резиденция управления находилась в Стерлитамаке, в здании правительства Малой Башкирии [7].

*ИСЛАМ ТАТАРСКИЙ, ИСЛАМ  
БАШКИРСКИЙ, А ВЛАСТЬ СОВЕТСКАЯ*

14 июня 1922 г. вышел декрет ВЦИК «О расширении границ Автономной Башкирской Социалистической Советской Республики», который упразднил Уфимскую губернию путем слияния ее с Малой Башкирией. С расширением границ БАССР, Духовное управление пытается распространить свое влияние на всю территорию Башкирской республики, вступая в соперничество с находившемся в Уфе Центральным духовным ведомством.

Летом 1923 г., с 10 по 17 июня, башкирское духовенство созывает съезд мусульман БАССР, проходивший в одни и те же дни с общероссийским мусульманским съездом. В проведении съезда поддержку башкирскому духовенству оказал Наркомат внутренних дел БАССР и лично Ш. Худайбердин, на имя которого в день открытия съезда была отправлена благодарственная телеграмма: «... от духовенства и представителей бедного башкирского народа съезд посылает свою благодарность башкирскому народному комиссариату внутренних дел. Духовенство Башкирской республики радуясь на то свержение самодержавия, которое посылало работать своих миссионеров среди мусульман против религии Ислама (Магомета), посылает свои привет ... Мы, угнетенное духовенство угнетенного народа, увидев равенство и свободу, и решение свободно свои желания во 2-м съезде духовенства Башкирской республики, мы от души приветствуем Советскую власть. Да здравствует Башкирская Советская Социалистическая республика. Да здравствует Российская Социалистическая Федеративная Советская республика. Председатель съезда духовенства Башкирской Республики Г. Гафури. Секретарь Бакиров. 1923 г. 10 июня» [20].

Организаторы съезда еще раз подтвердили свое стремление к обособленности от центрального мусульманского ведомства. В глазах башкир оно было и оставалось проводником политики центральной власти и одновременно органом, в котором «царило засилье татарского духовенства». Председателем БДУ стал Мутыгулла Гагауллин\* (Гагай).

Съезд принял резолюцию об организации Духовного управления «специально для Башкирской Республики», о чем извещает БашЦИК, а тот – Наркомнац: «Сим извещается, духовный съезд представителей населения Башкирии, происходивший 10–17 июня, для рассмотрения духовных дел народов Башкирской Республики организовал Башкирское Центральное Духовное Управление, поэтому никакие другие духовные управления не имеют право сношаться с Вами по делам, касающимся религии, и просим по религиозным вопросам вести дела исключительно через Башкирское Духовное Управление. Вместе с тем просим довести до сведения Центрального Наркомнаца об организации специально для Башкирской Республики Духовного Управления». На письме имеется резолюция Председателя ЦИК БАССР Кушаева: «Копию направить в Наркомнац для сведения и для уведомления, что имеется Башкирское Духовное Управление. Предбашкик. Кушаев. Верно: Зав. общим делом производством (подпись)» [20].

К середине 30-х гг. на территории России прекратили существование почти все мусульманские приходы, мечети были закрыты, религиоз-

\* Гагауллин Мутыгулла – Гагай (1875, д. Кунашак Шадринского у. Екатеринбургской у. – 4 июня 1936 г. Уфа), муфтий, председатель Духовного управления Башкирской Республики в 1926–1936 гг. Мещеряк. Отец – известный на Урале златоустовский ишан [Г]Атаулла. Образование Гагай получил в медресе Кунашака и «Расулия». До 1923 г. служил имамом мечети I прихода Кунашака (с 1922 г. – Аргаяшский кантон БАССР), с 1923 г. – казы (кади), с 1926 г. – муфтий, председатель ДУМ Башкирской Республики. Издатель и редактор религиозного журнала «Дианат» (1926–1928 гг.). Убежденный противник джадидизма, в борьбе башкирского духовного управления с ЦДУМ (20–30-е гг.) занимал крайне националистическую позицию. Умер 4 июня 1936 г. Похоронен в Уфе на территории магометанского кладбища (Юнусова А.Б. Ислам в Башкортостане. Уфа, 1999).

ная жизнь замерла. В Башкирии из 2507 мечетей продолжали функционировать едва 600, в Татарии и того меньше. Были закрыты мечети в Астрахани, Горьком, Москве, Ленинграде. В национальных республиках прошли процессы над «буржуазными националистами», в ходе которых были репрессированы республиканские руководители всех рангов и представители творческой и научной интеллигенции коренных национальностей. Под волну борьбы с «буржуазным национализмом» попали и без того гонимые религиозные деятели мусульманской конфессии.

Пока был жив Р. Фахретдинов, Центральное духовное управление мусульман России (ЦДУМ) не трогали, хотя почти все религиозные учреждения были уничтожены. К 1936 г. ЦДУМ представляло собой одинокий остров в океане бушующих репрессий. Кончина муфтия Ризы Фахретдинова (12 апреля 1936 г.) была удобным поводом для того, чтобы разделаться с Духовным управлением мусульман России. В 1936–1938 гг. по возбужденному уголовному делу «О заговоре руководителей ЦДУМ» оно было практически разгромлено. Новым муфтием был «избран» Габдрахман Расулев\*.

Заодно власти разделались и с Башкирским духовным управлением, зарегистрированным НКВД в июне 1924 г. Последние десять лет его возглавлял муфтий Мутыгулла Гатаул-

лин (Гатай). Муфтий Гатай был единственным, кому удалось избежать ареста в годы репрессий. Состояние мучительного ожидания ареста, в котором он пребывал после похорон Р. Фахретдинова, закончилось разрывом сердца, 4 июня 1936 г., в возрасте 60 лет, Мутыгулла Гатауллин скончался. Его похоронили на магометанском кладбище Уфы, неподалеку от мечети. Через 10 дней после похорон башкирского муфтия был арестован его заместитель М.М. Камалетдинов\*\*. Уничтожив полностью БДУ, а также его документацию и архив, власти передали здание управления по ул. Телеграфной, 2 Башоблдеткомиссии. О том, что документы башкирского ДУМ были уничтожены, сообщается в справке о реабилитации Мутагара Камалетдинова, выданной его семье в 1956 г. Редкие материальные подтверждения существования ДУМ Башреспублики сохранились в уголовном деле Мутагара Камалетдинова: справка о его назначении членом ДУМ с печатью и штампом организации, фрагменты тюремного дневника Мутагра, разработанный им шифр для переписки с близкими (рис. 1).

Ослабленные в борьбе друг с другом мусульманские управления – Башкирское и Центральное – не смогли противостоять ударам воинствующего атеизма, нанесенным религии в 30-е гг.

---

\* Габдрахман Зайнуллович Расулев (1889–1950), муфтий, председатель ДУМЕС в 1936–1950 гг. Сын известного ишана Зайнуллы Расулева. Закончил медресе «Расулия» (1917), получил звание ишана и право иметь учеников. До самой смерти воспринимался духовенством как ишан. В 1936 г. избран председателем Центрального духовного управления мусульман РСФСР (позже – ДУМЕС). Его обращение к Сталину от имени мусульман Советского Союза с заверениями в поддержке Красной Армии (1943) и собранные им среди мусульман средства на строительство танковой колонны сыграли большую роль в либерализации государственной религиозной политики. Сам Г. Расулев передал в фонд Красной Армии 50 тысяч рублей личных денег. В декабре 1945 г. возглавил первый послевоенный хадж мусульман СССР в Мекку. В 1948 г. вторично избран председателем ДУМЕС. Составитель религиозных календарей, учебных пособий, книги «Ислам Дини». Умер после продолжительной болезни в 1950 г., похоронен в Уфе на территории мусульманского кладбища (Юнусова А.Б. Ислам в Башкортостане. Уфа, 1999).

---

\*\* Мутагар Мирхайдарович Камалетдинов (1875–1938), заместитель муфтия БДУ, казый. Представитель мусульманского духовенства старого – кадимистского – толка, автор книги «История деревни Старые Киишки» (1911). Убежденный «враг советской власти, как власти противной богу», М. Камалетдинов был противником не только новой атеистической власти, но и любых попыток реформ в исламе. В деревне Киишки М. Камалетдинов открыл свое медресе. Будучи сторонником монархии и поддерживая белое движение в годы гражданской войны, в 1919 г. М. Камалетдинов лично выезжал встречать части Колчака. Первый арест состоялся в августе 1928 г. В 1933 г., отбыв ссылку в Николаевском заводе Братского района Восточной Сибири, вернулся в Уфу, где вошел в состав Башкирского духовного управления. Вновь арестован 23 июля 1936 г., приговорен на основании статьи 58 пп. 4, 6, 10, 11 к 8 годам концлагерей и 5 годам последующего поражения в правах. Но через десять месяцев это судебное решение было пересмотрено и ужесточено. Расстрелян летом 1938 г. (Юнусова А.Б. Ислам в Башкортостане. Уфа, 1999).

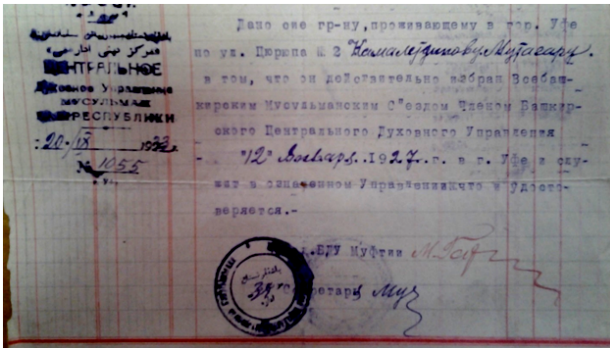


Рис. 1. Справка об избрании Мутагара Камалетдинова членом Башкирского ЦДУМ

### ПОДЕЛЕННАЯ ДУХОВНОСТЬ

В годы Великой Отечественной войны началась либерализация религиозной политики, коснувшаяся жизни мусульманской общины СССР. В октябре 1948 г., спустя 22 года после предыдущего III съезда, в Уфе состоялся IV Всероссийский съезд мусульман, переименовавший ЦДУМ в Духовное управление мусульман Европейской части СССР и Сибири (ДУМЕС). Устав ДУМЕС был зарегистрирован 25 октября 1948 г.

Историческое Духовное управление мусульман Европейской части СССР в Уфе имело более широкие – в географическом, территориальном плане – полномочия. В его ведении оставались мусульмане не только Российской Федерации, но также Украины, Белоруссии, прибалтийских союзных республик. В то же время, в соответствии с новым Уставом, ДУМЕС лишился многих своих прав: выдачи разрешений на открытие новых приходов и образование новых мухтасибатов, составление метрических книг, открытия религиозных школ и даже краткосрочных курсов. Разъяснять верующим основы ислама, рекомендовать прошедших проверку лиц в качестве имамов, вести учет приходов и мечетей – таковы были функции ДУМЕС.

Таким образом, к началу 50-х гг. мусульманское сообщество СССР было окончательно упорядочено и разделено на четыре сферы влияния «по национально-географическому» [22, с. 21], точнее, по историко-культурному, территориальному признаку. Интересы и территории муфтиятов не пересекались, каждое осуществляло управление духовной жизнью мусульман в пределах «своей географии».

Внутри ДУМЕС время от времени отмечались конфликты между муфтием и его окружени-

ем, особенно заметными они были во время смены председателя управления, но никто не посягал на единственность ДУМЕС в РСФСР. В таком составе и качестве ДУМЕС существовал до 1992 г.

Демонтаж СССР и политико-административные преобразования загнали сферу духовной жизни мусульман, были подняты вопросы модернизации ДУМЕС в том числе. В январе 1991 г. на заседании президиума ДУМЕС в Уфе было принято решение образовать 25 мухтасибатов, из которых 16 объединяли мусульман в пределах областей: Астраханский, Куйбышевский, Нижегородский, Омский, Ленинградский, Пермский, Пензенский, Крымский, Свердловский, Тюменский, Московский, Саратовский, Ростовский, Прибалтийский, Ульяновский и Оренбургский. Пять мухтасибатов – Бугульминский, Зеленодольский, Казанский, Набережночелнинский и Чистопольский – были созданы в Татарстане и четыре мухтасибата – Октябрьский, Сибайский, Стерлитамакский, Уфимский – в Башкортостане. Фактически началось дробление ДУМЕС, а мусульмане Татарстана и Башкортостана оказались разделенными на «таджуддиновских» и «мухтасибатских».

Националистические лозунги, звучавшие в это время в обеих республиках, не нашли поддержки Талгата Таджуддина, таким образом, он оказался в оппозиции по отношению не только к сторонникам реформирования ДУМЕС, но и к националистически настроенным мусульманам и в Татарстане, и в Башкортостане, где строились планы создания независимых от ДУМЕС самостоятельных республиканских духовных управлений.

Внешне ситуация не выглядела тревожной. В стране одна за другой открывались и восстанавливались мечети, и практически на всех церемониях открытия мечетей Талгат Таджуддин был либо главным действующим лицом, либо самым желанным и почетным гостем. Но тлеющий конфликт между муфтием и рядом имамов постепенно разрастался, и в августе 1992 г. произошел разрыв духовенства ряда мухтасибатов и прежде всего Татарстана и Башкортостана с муфтием Талгатом Таджуддином. 21 августа 1992 г. заместитель муфтия Нурмухаммед Нигматуллин, ответственный секретарь ДУМЕС Нафигулла Аширов и главы Стерлитамакского, Октябрьско-



го и Сибайского мухтасибатов создали в Уфе съезд, поставивший своей целью учредить независимое ДУМ Республики Башкортостан. ДУМ РБ, согласно Уставу, признавал верховным органом съезд делегатов мусульманских приходов, избранных на пятничных собраниях, который созывается раз в 5 лет\*.

В это время в Башкортостане, по данным глав администраций районов, было зарегистрировано 413 мусульманских прихода, из них к ЦДУМ относятся 149, к ДУМ РБ 264. Картографирование приходов показало следующую картину: территория Башкортостана оказалась поделенной на две части: мусульмане северной и северо-западной части республики находятся под юрисдикцией ЦДУМ, а центральных и южных районов — ДУМ РБ. Наиболее концентрировано расположены приходы ЦДУМ в Альшеевском, Белебеевском, Еремеевском, Иглинском, Кармаскалинском, Татышлинском, Уфимском, Чишминском и Янаульском районах Башкортостана. Приходы ДУМ РБ преобладают в Баймакском, Белокатайском, Бурзянском, Зианчуринском, Зилаирском, Ишимбайском, Салаватском, Стерлибашевском, Учалинском районах. По сути дела в ведении ЦДУМ остались районы с преобладающим татарским населением, а в ведении БДУ — с башкирским. Наблюдалось и смешение приходов в Альшеевском, Белебеевском, Чекмагушевском, Чишминском и некоторых других районах [17].

В 90-е гг. в России появились и другие духовные ведомства и муфтияты, которые одновременно проецируют свою юрисдикцию на одни и те же регионы, внося сумятицу в организацию духовной жизни мусульман. Одним из них стал учрежденный в Москве Совет муфтиев России (СМР), составивший главную конкуренцию уфимскому ЦДУМ.

Созданная нами в 2015–2016 гг. электронная карта мусульманских приходов Южного Урала отражает современное распределение мечетей

между централизованными духовными ведомствами. Мечети в Республике Башкортостан по-прежнему распределены между двумя ведомствами — ЦДУМ и ДУМ РБ — с преобладанием мечетей ДУМ РБ, которое, в свою очередь, входит в Совет муфтиев России (СМР) в Москве под председательством муфтия Равиля Гайнутдина (рис. 2, 3) [18].

Т а б л и ц а

*Башкиры и татары в национальном составе районов Башкортостана, в которых преобладают приходы ДУМ РБ [19]*

Район/национальность	Численность	%
<b>Абзелиловский район</b>		
всего населения	45551	
башкиры	40200	88.3
татары	732	1.6
<b>Баймакский район</b>		
всего населения	58872	
башкиры	48666	82.6
татары	2030	4.2
<b>Балтачевский район</b>		
всего населения	21623	
башкиры	10962	50.7
татары	6701	31
<b>Белорецкий район</b>		
всего населения	107248	
башкиры	32645	30.4
татары	7257	6.8
<b>Ишимбайский район</b>		
всего населения	91301	
башкиры	36834	40.3
татары	10909	29.6
<b>Кугарчинский район</b>		
всего населения	31444	
башкиры	17294	55
татары	4069	13
<b>Учалинский район</b>		
всего населения	73268	
башкиры	46852	64
татары	11543	15.8
<b>Хайбуллинский район</b>		
всего населения	33398	
башкиры	25863	77.4
татары	681	2

\* Внеочередной съезд созывается в месячный срок с представительством не менее 2/3 приходов. Глава мусульман РБ — муфтий, избирается на 5 лет. Органы ДУМ РБ: Президиум из 5 членов, Совет Улемов из 5 членов, Центральная ревизионная комиссия (4 чел.). Структура: АХО, издательский отдел, отдел международных связей. Мухтасибаты состоят из 10–15 приходов.

Мечети ДУМ РБ находятся в основном на юге и юго-востоке республики. Более всего их двух районах — Баймакском и Абзелиловском (59 и 36). В пяти районах — Хайбуллинском, Кугарчинском, Ишимбайском, Учалинском и Балтачев-

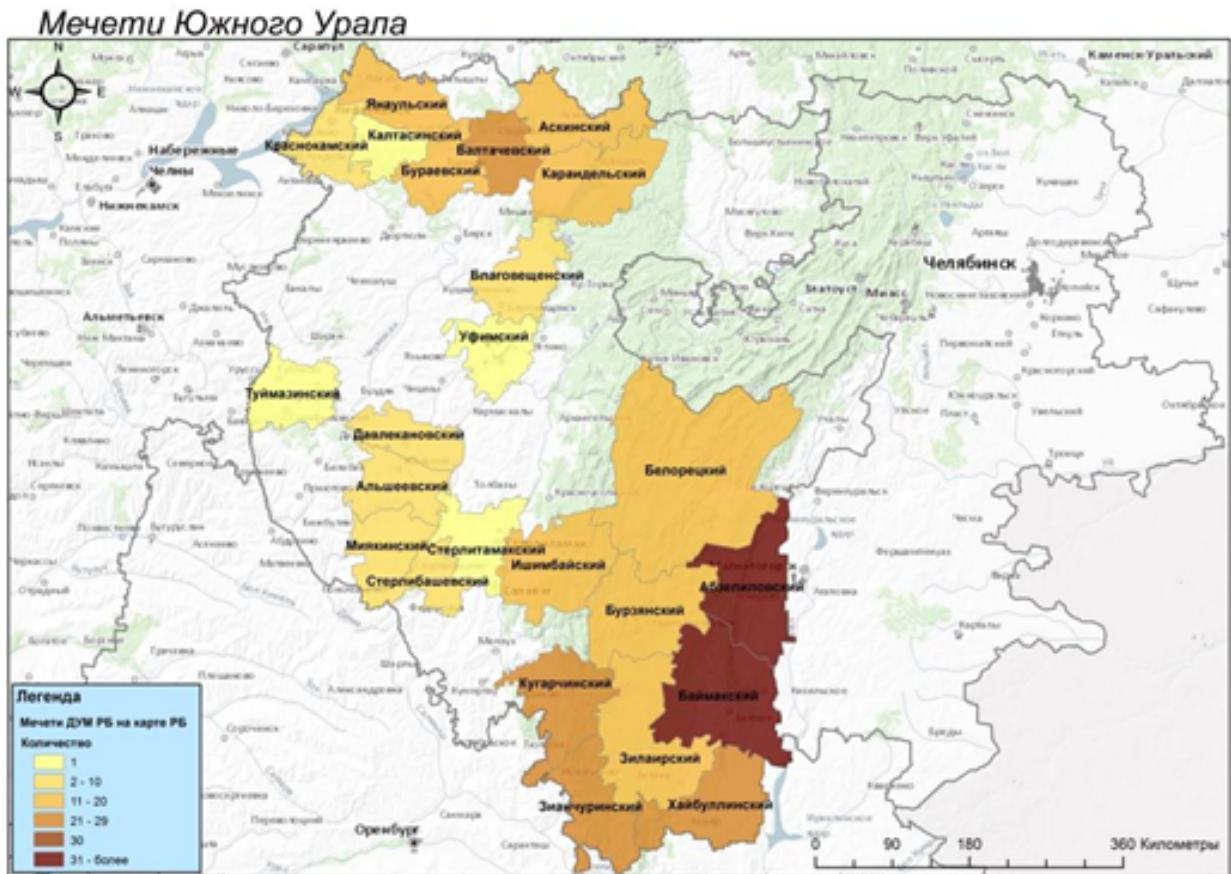


Рис. 2. Распределение мечетей ДУМ РБ на территории республики. 2016 г.

ском количество мечетей ДУМ РБ колеблется от 20 до 35 в каждом. Еще в 19 районах действует по 8–19 мечетей ДУМРБ, в остальных – по 1–5 мечетей. Наибольшая концентрация мечетей ДУМ РБ приходится на районы, где башкирское население по численности преобладает над татарским (табл.). По данным проведенного в 2015 г. опроса имамов Духовного управления мусульман Республики Башкортостан, 54% из них проводят службу на башкирском языке, 24% – на башкирском и татарском, 22% на татарском.

По-прежнему, как и в начале прошлого века, башкиры-мусульмане, находясь в общероссийском мусульманском пространстве, сохраняют стремление к автономии в организации своей духовной жизни.

Можно выделить несколько причин такой ситуации в башкирском исламе:

– и в 1917, и в 1992 гг. Духовное управление мусульман рассматривалось как один из институтов государственности суверенного Башкортостана;



Рис. 3. Распределение мечетей Башкортостана между духовными управлениями

– выраженные еще 100 лет назад лидерами башкирского национального движения опасения «татаризации» ислама ввиду того, что татары представляли и представляют подавляющее большинство мусульман России. Тем более, что в августе 2016 г. пленум ДУМ Республики Татарстан постановил, что во всех мечетях республики пятничные проповеди должны читаться только на татарском языке, при этом выступающие на пленуме подчеркивали, что «у нас по всей России мечети были татарские» (<https://www.business->

[gazeta.ru/article/320443](http://gazeta.ru/article/320443); <https://www.business-gazeta.ru/article/319512>);

– стремление сохранить башкирский язык, в том числе как язык духовной повседневности;  
– не последнюю роль играет «архизм» ислама у башкир, в религиозной практике которых по-прежнему присутствуют элементы доисламских культов (культ предков и практика поклонения святым местам и др.).

Важный вопрос, почему ДУМ РБ избрал в качестве вышестоящей централизованной организации не находящееся в Уфе ЦДУМ, а Совет муфтиев России (СМР) в Москве? Этот выбор можно объяснить лишь застарелым конфликтом с ЦДУМ и желанием уйти из-под его юрисдикции в те структуры, которые созданы вопреки ЦДУМ. Такой универсальной «надтерриториальной» структурой стал СМР, который стремился собрать под своей эгидой отколовшиеся от ЦДУМ муфтияты, взяв на себя функции централизованной организации и зарегистрировав сначала Духовное управление мусульман Европейской части России, поделившись страной с Духовным управлением Азиатской части России, а впоследствии переименовавшись в Духовное управление мусульман России. Несмотря на все переименования, эта организации по-прежнему известна как СМР. Безусловно, Совет муфтиев, как любой коллегиальный общественный орган, может и должен содействовать решению существующих проблем и перспективному развитию муфтиятов. Однако, как и существующие подобные советы, он не должен подменять собой органы управления. Например, Совет ректоров вузов России при всей своей значимости ни в коем случае не подменяет собой Министерство образования и науки. Конечно, для ДУМ РБ и других муфтиятов логично входить в СМР как в общественный совет, но в качестве структурной единицы – в Центральное духовное управление мусульман на правах регионального ДУМ. Но в этом случае необходимо будет объединиться с уже существующим в составе ЦДУМ Региональным ДУМ по Республике Башкортостан, что, с точки зрения руководства ДУМ РБ, лишит его самостоятельности. К подобному объединению ДУМ РБ пока не готово. К кардинальному изменению ситуации не готово и руководство рес-

публики. Изменения и перераспределение приходов могут произойти при смене духовных лидеров ЦДУМ, СМР, ДУМ РБ. Гипотетическая возможность объединения всех приходов России, скорее всего, будет у той структуры, которая осознает, что в российском исламе присутствуют не только татары, башкиры, принявшие ислам русские, а также огромное число мусульман – выходцев из стран Центральной Азии, и все они хотят слушать проповедь «на понятном языке».

История и современность показывают, что отсутствие единства мусульман делает их уязвимыми перед политическими, социальными, культурными вызовами, перед угрозой международного терроризма. Консолидация российских мусульман – важнейшая задача, и для достижения необходимо учитывать все исторически сложившееся разнообразие национальных культур и духовных запросов мусульманских народов России.

#### Литература

1. Юлдашбаев Б. Х. Национально-государственное устройство Башкортостана. 1917–1925 гг. Т. 1. Уфа, 2002.
2. Татар-оглу. Медресе-и-Алийе // Сибиряк. № 97. 10 апреля 1910 г.; № 98. 1 мая 1910 г.; № 106. 8 мая 1910 г.; № 107. 12 мая 1910 г.; № 108. 15 мая 1910 г.
3. Юнусова А.Б., Азаматов Д.Д. 225 лет ЦДУМ. Уфа, 2013.
4. Образование Башкирской Автономной Советской Социалистической Республики: сборник документов и материалов. Уфа, 1959. Док. № 61.
5. Ишемгулов Б. Контрреволюция кэннэрэндэ динчелэр. Уфа, 1927.
6. Заки Валиди Тоган. Воспоминания. Книга 1. Уфа, 1994. С. 356.
7. Юнусова А.Б. Ислам в Башкортостане. Уфа, 1999.
8. Ислам и мусульмане Южного Урала в историко-правовом пространстве России: сборник законодательных актов, постановлений и распоряжений центральных и региональных органов власти и управления XX–XXI вв. Уфа: ГУП РБ УПК, 2009.
9. Заки Валиди Тоган. Воспоминания. Борьба мусульман Туркестана и других восточных тюрок за национальное существование и культуру. М., 1997.

10. Башкорт хокумәтенең теле. № 13 (6). 8 окт. (25 сент.) 1918 г.
11. Юлдашбаев Б.Х. Первый субъект. 75 лет назад была провозглашена автономия Башкирии // Советская Башкирия. 23.03.1994.
12. НА РБ. Ф. 1107. Оп. 1. Д. 1. Л. 91 об., 130 об.
13. Башкорт хокумәтенең теле. 1918. № 13 (6).
14. НА РБ. Ф. 394. Оп. 2. Д. 2078. Л. 162–164; НА РБ. Ф. 122. Оп. 5. Д. 186. Л. 118.
15. ГА РФ. Ф. 1318. Оп. 1. Д. 1694. Л. 19–20.
16. Силантьев Р. А. Новейшая история исламского сообщества России. М., 2005. С. 21.
17. Юнусова А.Б. Мусульмане Урало-Поволжья в начале XXI в. // Россия и мусульманский мир. 2013. №10(256). С. 42–53.
18. Юнусова А.Б. Электронный ресурс «Ислам на Южном Урале» // Известия Уфимского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 102–109.
19. Национальный состав и владение языками, гражданство населения Республики Башкортостан по данным Всероссийской переписи населения 2010 года: статистический сборник. В 2 ч. Ч.2. Уфа: Башкортостанстат, 2013. С. 90, 95, 99, 105, 132, 140, 158, 162.



**AUTONOMY OF BASHKIR ISLAM:  
TO THE 100TH ANNIVERSARY OF SPIRITUAL CONTROL  
MUSLIM OF BASHKORTOSTAN**

© **A.B. Yunusova**

Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The article is devoted to the problem of the interaction of religious and ethnic factors in the history of the Russian Muslim community on the example of the history of the Spiritual Board of Muslims of Bashkortostan, created in 1917, during the period of the proclamation by the Provisional Government of the abolition of all national and religious restrictions and the highest activity of the Bashkir national movement.

The urgency of the problem is due to the absence in Russia of a unified management system for Muslim parishes, the need for an objective analysis of the reasons for the creation of a national spiritual department and its re-creation in the era of the «sovereignty parade» in 1992, the tasks of preventing interethnic conflicts among Russian Muslims in the conditions of an increasing flow migrants from Central Asia, on the one hand, and the tatarization of Russian Islam, on the other.

In the article, issues such as the role of the Islamic factor in the Bashkir national movement in 1917–1919, the policy of the Bashkir autonomy in the sphere of religion and freedom of conscience, the history of the relationship between the Spiritual Administration of Muslims of the Bashkir ASSR and the Central Spiritual Directorate of Muslims, repression with regard to Muslim organizations in the 1930s and the defeat of both spiritual administrations of Muslims in the territory of the BASSR, the re-creation of the Bashkir spiritual department in 1992.

The article is written on the basis of archival materials, field studies and results of spatial analysis of the distribution of Muslim parishes in the territory of the Republic of Bashkortostan.

Key words: Islam, Bashkir national movement, Farman XII, Spiritual Department of Muslims, DUM RB, CDUM.

УДК 33;39

**СОЦИАЛЬНЫЕ ОЖИДАНИЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ЮЖНОГО УРАЛА  
В СВЯЗИ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ АПК**

© А.Г. Баимов, Р.М. Мухаметзянова-Дуггал, Т.М. Надыршин,  
А.И. Тузбеков, А.Б. Юнусова

Представлены общая характеристика инвестиционного климата и потенциала Башкортостана, Оренбургской и Челябинской областей на примере районов с успешно развивающимися АПК. Авторами осуществлен анализ социальной реакции населения на инвестиционные агропромышленные проекты, основанный на результатах проведенного в 2015–2017 гг. анкетирования сельского населения Республики Башкортостан, Оренбургской и Челябинской областей. Рассматривая социальную реакцию сельского населения на инвестиционные проекты в агропромышленном комплексе, авторы также учитывали фактор социальных ожиданий жителей районов, успешных в плане привлечения инвестиций в АПК. Для сравнения выбраны Давлекановский и Кармаскалинский районы Башкортостана, Переволоцкий и Саракташский районы Оренбургской области, Аргаяшский район Челябинской области. Приводятся результаты анкетирования сельского населения, сравниваются ответы респондентов по двум вопросам: «Как бы Вы оценили состояние инфраструктуры и социальных объектов в Вашем регионе?» и «Помогут ли инвестиции в АПК улучшить состояние инфраструктуры и социальных объектов в Вашем регионе?». Ответы отражают социальную реальность и социальные ожидания сельского населения в связи с реализацией инвестиционных проектов АПК, которые напрямую затрагивают интересы жителей села. Результаты показывают место этноконфессионального фактора в формировании социальных ожиданий. Учет результатов анализа социальной реакции и социальных ожиданий сельского населения на примере трех регионов Южного Урала может быть использован при необходимости корректировки инвестиционной политики и предотвращения возможных рисков.

Ключевые слова: АПК, социальное самочувствие, социальные ожидания, Башкортостан, Оренбургская область, Челябинская область.

При разработке инвестиционных проектов АПК необходимо осуществлять мониторинг социального самочувствия сельского населения. Прогнозируя ожидаемые результаты инвестиций в АПК, нельзя не учитывать такой фактор, как социальная реакция местного населения на все те изменения, которые сопутствуют созданию инновационных хозяйственных комплексов в сельских районах. Социальная реакция обусловлена уже сложившимся опытом, оценками, убеждениями и предубеждениями, которые в целом формируют социальные ожидания населения [1]. Согласно социально-философской концепции социальных ожида-

ний, последние являются совокупностью субъективных ориентаций социальных установок, которые отражают социальную реальность, выступают регулятором социального поведения личности и предпосылками ее изменения [2].

В Республике Башкортостан нами были обследованы Давлекановский и Кармаскалинский районы, специализирующиеся на возделывании зерновых культур, сахарной свеклы и подсолнечника, а также на разведении молочного и мясного скота. Выборка респондентов была осуществлена с учетом официальных статистических данных, репрезентативность соответствует фор-

БАИМОВ Айрат Гайсарович, Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: baimov.airat@mail.ru

МУХАМЕТЗЯНОВА-ДУГГАЛ Регина Массаровна – д.полит.н., Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: mregina@yandex.ru

НАДЫРШИН Тимур Маратович, Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: timurimp@mail.ru

ТУЗБЕКОВ Айнур Ильфатович – к.и.н., Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, tuzbek.80@mail.ru

ЮНУСОВА Айслу Билаловна – д.и.н., Уфимский научный центр РАН, e-mail: aby\_02@mail.ru

мальным критериям выборки опрашиваемых при проведении социологических исследований.

Давлекановский район занимает площадь в 1907 кв.км, в 16 сельских поселениях проживает 40 162 чел. Башкиры составляют 36.3% населения, русские – 36.1, татары – 17.5, чувашаи – 3.4, украинцы – 3.3, лица других национальностей – 3.4% [3]. Здесь функционируют 102 хозяйства, занятых производством сельскохозяйственной продукции, в том числе 14 обществ с ограниченной ответственностью, 3 открытых акционерных общества, 85 крестьянских (фермерских) хозяйств и более 6.8 тысяч личных подсобных хозяйств граждан. За всеми категориями хозяйств закреплено 160 064 га сельскохозяйственных угодий. В структуре валовой продукции сельского хозяйства более 60% занимает продукция растениеводства: зерно и подсолнечник, переработка продукции осуществляется предприятиями города Давлеканово – ЗАО «Давлекановская молочная компания», «Давлекановский комбинат хлебопродуктов №1» (мука, крупа), «Давлекановский комбинат хлебопродуктов» (мука, крупа, комбикорма) и др. [4].

Общая площадь Кармаскалинского района составляет 175 тыс. га, из них сельскохозяйственного назначения – 116 тыс. га или 68%. В 16 муниципальных образованиях проживает 50.2 тыс. чел., из них башкиры составляют 39.6%, татары – 31.9, русские – 16.5, чувашаи – 9.3, мордва – 1%, всего в районе проживают представители более 40 народов. Основная отрасль экономики – сельское хозяйство, которое специализируется на возделывании зерновых культур, сахарной свеклы – более 95% площадей заняты этой культурой. В животноводстве наибольшее развитие получило молочное производство, развито пчеловодство. Сельское хозяйство специализируется на возделывании зерновых культур и сахарной свеклы. На базе ООО «Карламанский сахар» реализуется крупный инвестиционный проект, предполагающий реконструкцию сахарного производства и доведение мощностей переработки сахарной свеклы до 3000 тонн в сутки. Два крупных агропромышленных комплекса ООО ПХ «Артемида» и ЗАО АПХ «Алатау» реализуют проекты строительства молочно-товарных ферм на 3000 голов дойного стада [5].

*Оренбургская область* обладает вторым по размерам полем в Российской Федерации – более 6 млн га посевных площадей. Здесь действу-

ют 734 сельскохозяйственные организации, 6.8 тыс. крестьянских хозяйств, 300 тыс. личных подсобных хозяйств. Нами обследовались Саракташский и Переволоцкий районы Оренбургской области как наиболее близкие по экономическим характеристикам и этноконфессиональному составу Камаскалинскому и Давлекановскому районам Республики Башкортостан.

Саракташский район – один из крупнейших сельскохозяйственных районов области, занимающий 363.9 тыс. га, из которых площади земель сельскохозяйственного назначения составляют 311.7 га, или 85.7%. В районе в 20 муниципальных образованиях проживают 43.9 тыс. чел., представляющих более 20 этносов. Русские составляют 67%, татары – 16, казахи, башкиры и украинцы представлены в равных долях – по 4.6%. Занятость населения составляет 40%. В районе на базе ООО «Мясная корпорация «Меркурий» ООО «ОРЕНБИВ» реализуются крупнейшие агропромышленные проекты развития мясного скотоводства и строительства откормочных площадок для КРС с частичной переработкой мяса в Оренбургской области и вертикально интегрированной системы: от убоя КРС до переработки и реализации мясных полуфабрикатов компанией «Иналка» в России [6]. Прорабатываются вопросы по строительству в этом районе современной откормочной площадки на 5 тыс. скотомест с последующим увеличением мощности до 10 тыс. [7].

Переволоцкий район – расположен в центральной части Оренбургской области, охватывает верховья реки Самара, включая ее исток – Каменный родник. Ежегодно на территории района производится: от 70 до 100 тыс. тонн зерна, до 22 тыс. тонн молока, до 4 тыс. тонн мяса [8]. Сельское хозяйство района представлено одним крупным предприятием, четырьмя средними сельскохозяйственными предприятиями, 16 малыми и микропредприятиями 145 крестьянскими (фермерскими) хозяйствами. Личные подсобные хозяйства составляют 10 255 единиц. Все сельхозпредприятия занимаются растениеводством. Животноводческий комплекс включает в себя 11 ферм, в которых содержится более 8 тыс. голов крупного рогатого скота.

*В Челябинской области*, согласно данным министерства сельского хозяйства Челябинской области, действует 10 крупных инвестиционных проектов в агропромышленный комплекс, в том

числе ЗАО «Уралбройлер» в Аргаяшском районе – крупнейший АПК в Уральском регионе, развивающийся по трем направлениям: птицеводство, свиноводство, мясопереработка. Исследование социального самочувствия населения проводилось в деревнях Ишалино и Дербишева, на территории которых действуют 3 птицефабрики ЗАО «Уралбройлер». Национальный состав указанных деревень разнородный, но с преобладающим башкирским населением, тогда как в целом в регионе титульной нацией считаются русские. Учитывая фактор культурной изоляции, характерной для башкирских деревень Челябинской области, деревни Ишалино и Дербишево представляют для исследования особенный интерес.

Всего в деревне Ишалино проживают 635 человек, из них 311 мужчин и 325 женщин. Ближайший город (Челябинск) находится в 43 км от деревни, до районного центра Аргаяш – 15 км. В деревне действуют 2 птицефабрики. Население деревни Дербишева составляет 1344 человек (652 мужчин, 692 женщины) [9]. Расстояние до Челябинска 48 км, до с. Аргаяш 22 км. 76.19% населения названных деревень составляют башкиры, 19.05 – русские, 4.76% – другой национальности [10].

Продолжая мониторинг социального самочувствия населения названных районов, мы представляем предварительные результаты опроса, отражающие социальные ожидания населения на развитие АПК. Современное состояние социальной инфраструктуры оценивается жителями достаточно критически (рис. 1), перспективы развития районов связаны с развитием АПК. В целом жители районов считают, что инвестиции в агропромышленные проекты будут все же способствовать улучшению инфраструктуры районов, строительству новых социальных объектов (рис. 2). В Давлекановском районе на вопрос «Помогут ли инвестиции в АПК улучшить состояние инфраструктуры и социальных объектов в Вашем регионе?» положительно ответили (да/скорее да, чем нет) 68.8%, в Кармаскалинском – 67.7%. Но в отличие от кармаскалинцев, где только 7.41% отрицательно ответили на этот вопрос, почти треть давлкановцев (28%) ответили на него отрицательно. Большинство жителей Аргаяшского района Челябинской области считают, что инвестиции в АПК помогут развитию инфраструктуры и строительству социальных объектов (61.9%), улучшению экологии (53.38%), повышению занято-

сти молодежи (71.43%). В пользу инвестиций в АПК говорит и тот факт, что 90.48% опрошенных предпочитают местную продукцию сельского хозяйства. В Саракташском и Переволоцком районах Оренбургской области на вопрос «Помогут ли инвестиции в АПК улучшить состояние инфраструктуры и социальных объектов в Вашем регионе?» положительно ответили (да/скорее да, чем нет) 69% жителей, но 31% саракташцев и 19% опрошенных жителей Переволоцкого района ответили на него отрицательно.

Распределение ответов сельских жителей Башкортостана, Оренбургской и Челябинской областей на вопрос "Как бы Вы оценили состояние связи, дорог и социальных объектов в Вашем районе?" (%)

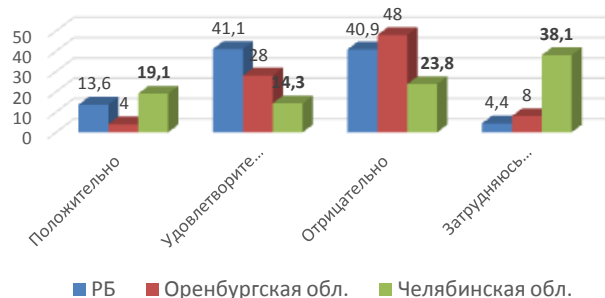


Рис. 1. Ответы на вопрос «Как бы Вы оценили состояние связи, дорог и социальных объектов в Вашем районе?»

Распределение ответов сельских жителей Башкортостана, Оренбургской и Челябинской областей на вопрос "Помогут ли инвестиции в АПК улучшить состояние инфраструктуры и социальных объектов в Вашем регионе?" (%)

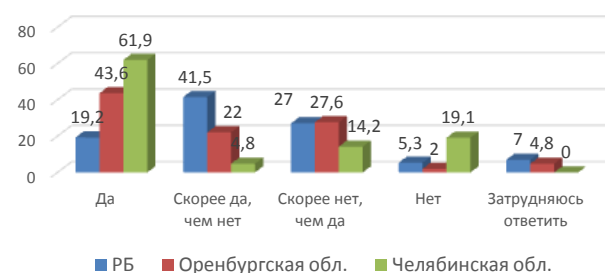


Рис. 2. Ответы на вопрос «Помогут ли инвестиции в АПК улучшить состояние инфраструктуры и социальных объектов в Вашем регионе?»

Очевидно, что социальные ожидания связаны с общим состоянием экономики и социальной инфраструктуры районов. Наиболее оптимистично настроены жители Аргаяшского района Челябинской области, из которых 23.8% отрицательно оценивают современное состояние района. Наименьшие ожидания у жителей районов РБ, 40% которых не удовлетворены социальной инфраструктурой района. В дальнейшем предстоит выявить причины низкого уровня по-

зитивных ожиданий в Республике Башкортостан по сравнению с соседними регионами.

*Авторы выражают благодарность Айгуль Шагиевой за помощь в обработке данных опроса.*

*Статья написана при поддержке РГНФ в рамках проекта № 15-02-0004*

#### Литература

1. Вероятностное прогнозирование в деятельности человека, М., 1977.
2. Грибов Д. Е. Социальные ожидания как регулятор социального поведения личности: теоретические проблемы исследования // Гуманитарий Юга России. 2016. № 3. С. 182–189. [http://www.isras.ru/index.php?page\\_id=2384&id=4293&l=&printmode](http://www.isras.ru/index.php?page_id=2384&id=4293&l=&printmode)
3. Национальный состав и владение языками, гражданство населения Республики Башкортостан по данным Всероссийской переписи населения 2010 года: статистический сборник. В 2 ч. Ч. 2. Уфа: Башкортостанстат, 2013.
4. Инвестиционный паспорт Давлекановского района // <https://invest.bashkortostan.ru/uploads/attachment/attachment/166/MR-Davlekanovsky-pasp.pdf>
5. Инвестиционный паспорт Кармаскалинского района // <http://www.admkarm.ru/investitsionnaya-deyatelnost/investitsionnyu-pasport>

6. Юнусова А.Б., Иом Дин Г., Тузбеков А.И., Надьршин Т.М., Мухаметзянова-Дуггал Р.М., Баимов А.Г. Этносоциальные факторы реализации инвестиционной стратегии в регионах Южного Урала // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 89–102.

7. Маслов М.Г., Петрова Г.В. Состояние и перспективы развития животноводства Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (60). С. 120–124.

8. <http://www.oreneconomy.ru/investors/investrayon/perevoloskiy.pdf> (дата обращения 21.08.2017)

9. Численность населения городских округов, муниципальных районов, городских и сельских поселений, городских населенных пунктов, сельских населенных пунктов по итогам всероссийской переписи населения 2010 года // Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Челябинской области [Электронный ресурс]. URL: [http://chelstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/chelstat/ru/census\\_and\\_researching/census/national\\_census\\_2010/score\\_2010/](http://chelstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/chelstat/ru/census_and_researching/census/national_census_2010/score_2010/) (дата обращения 25.05.2017)

10. Наиболее многочисленные национальности населения муниципальных образований Челябинской области // Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Челябинской области [электронный ресурс]. URL: [http://chelstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/chelstat/ru/census\\_and\\_researching/census/national\\_census\\_2010/score\\_2010/](http://chelstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/chelstat/ru/census_and_researching/census/national_census_2010/score_2010/) (дата обращения 25.05.2017).

## SOCIAL EXPECTATIONS OF THE RURAL POPULATION OF THE SOUTHERN URALS IN CONNECTION WITH THE IMPLEMENTATION OF INVESTMENT PROJECTS OF THE AGROINDUSTRIAL COMPLEX

© A.G. Baimov<sup>1</sup>, R.M. Mukhametzyanova-Duggal<sup>1</sup>, T.M. Nadirshin<sup>1</sup>,  
A.I. Tuzbekov<sup>1</sup>, A.B. Yunusova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup> Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The article presents a general description of the investment climate and the potential of Bashkortostan, the Orenburg and Chelyabinsk regions, using the example of areas with successfully developing agribusiness. The authors analyzed the social reaction of the population to investment agro-industrial projects, based on the results of the 2015-2017 survey, questioning of the rural population of the Republic of Bashkortostan, Orenburg and Chelyabinsk regions. Considering the social reaction of the rural population to investment projects in the agro-industrial complex, the authors also took into account the factor of social expectations of the residents of the districts, successful in attracting investments in the agro-industrial complex. For comparison, selected Davlekanovskiy and Karmaskalinsky districts of Bashkortostan, Perevolotsky and Saraktashsky districts of the Orenburg region, Argayashsky district of the Chelyabinsk region. This article presents the results of the survey of the rural population, compares respondents' answers on two questions: «How would you assess the state of infrastructure and social facilities in your region?» and «Will investments in the agro-industrial complex improve the state of infrastructure and social facilities in your region?». The answers reflect the social reality and social expectations of the rural population in connection with the implementation of investment projects of the agro-industrial complex, which directly affect the interests of the villagers. The results show the place of the ethno-confessional factor in the formation of social expectations. The analysis of the social reaction and social expectations of the rural population on the example of the three regions of the South Urals can be used when it is necessary to adjust the investment policy and prevent possible risks.

Key words: agrarian and industrial complex, social state of health, social expectations, Bashkortostan, Orenburg Region, Chelyabinsk Region.