

# СОДЕРЖАНИЕ

2017. № 2

## ФИЗИКА

- С.Н. Цеплина, С.С. Остахов, Р.Р. Каюмова, Е.Е. Цеплин  
Низкоэнергетичные триплетные электронные возбужденные состояния  
1Н-1,2,4-триазол-5-тиола ..... 5

## ХИМИЯ

- О.Г. Кантор, С.И. Спивак  
Оценка качества моделей химической кинетики ..... 11
- Е.Ю. Панкратьев, Р.В. Хатымов  
Феноменологическая модель термодинамических функций  
энергетически наиболее стабильных изомеров фуллеренов ..... 18

## БИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И ГЕНЕТИКА

- А.Ш. Ахметова, А.А. Зарипова  
Размножение некоторых видов рода *Hedysarum* L. *in vitro* ..... 28
- Ф.К. Мурзабулатова, Н.В. Полякова  
Перспективные декоративные кустарники родов *Pentaphylloides* Duham. и *Spiraea* L.  
для озеленения в условиях Республики Башкортостан ..... 34
- Л.Х. Узянбаева, Л.Н. Миронова  
Онтогенез *Dianthus seguieri* Vill. в условиях Башкирского Предуралья ..... 40
- Т.Ю. Коршунова, О.Н. Логинов  
Токсикологические исследования биопрепарата для деструкции нефти ..... 45
- Г.Э. Актуганов, Н.Ф. Галимзянова, Н.В. Жарикова,  
Е.Ю. Журенко, В.В. Коробов, Т.Р. Ясаков, Т.В. Маркушева  
Хитиноподобная активность и антагонистические свойства бактерий-деструкторов  
хлорфеноксисукусных кислот ..... 50
- Ю.Н. Токарев, С.Г. Лелеков, А.М. Лях, С.А. Царин  
История развития, принципы работы и перспективы экспертных  
определяющих систем для морских гидробионтов ..... 57
- Г.А. Зайцев, А.Ю. Кулагин, Р.В. Уразгильдин, О.А. Дубровина, К.В. Логвинов,  
Н.А. Афанасов, А.Н. Чабан, Р.И. Шайнуров, О.В. Тагирова, К.З. Аминева  
Относительное жизненное состояние древесных насаждений  
в условиях промышленного загрязнения ..... 63

<i>М.Н. Кравцова, Г.Ф. Рыжкова</i> Содержание свободных аминокислот в эритроцитах и плазме крови кроликов при введении в рацион пиридоксина и серосодержащих добавок .....	69
<i>В.В. Коробов, С.Н. Стариков, А.И. Сагитова, Е.Ю. Журенко, Н.В. Жарикова, Т.Р. Ясаков, Т.В. Маркушева</i> Штаммы-деструкторы фенола рода <i>Vacillus</i> промышленных экотопов .....	73
<i>С.М. Азнабаева, Э.З. Башиева</i> К бриофлоре степей Башкирского Зауралья .....	78
<i>Т.М. Лысенко, С.М. Ямалов</i> Синтаксономия и ординация некоторых типов степей Среднего и Нижнего Поволжья .....	84
<i>Л.Г. Гергия, Л.М. Абрамова, Э.А. Айба</i> Анализ адвентивной фракции семейства Asteraceae флоры Абхазии .....	90

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Т.Т. Казанцева</i> К решению многолетней проблемы структурного продолжения Южного Урала .....	95
---	----

## ИСТОРИЯ, АРХЕОЛОГИЯ, ЭТНОЛОГИЯ

<i>Ш.Н. Исянгулов</i> Пережитки материнского рода у башкир в IX–XVI вв. ....	107
---	-----

## КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

<i>Р.Ю. Сибгаганова, Д.М. Галиуллина</i> Издания М.В. Ломоносова в редком фонде Научной библиотеки УНЦ РАН .....	113
---	-----

# CONTENTS

---

---

2017. № 2

---

---

## PHYSICS

- S.N. Tseplina, S.S. Ostakhov, R.R. Kayumova, E.E. Tseplin*  
Low-energy excited triplet states of 1H-1,2,4-triazole-5-thiol ..... 5

## CHEMISTRY

- O.G. Kantor, S.I. Spivak*  
Quality estimation of the chemical kinetic models ..... 11
- E.Yu. Pankratyev, R.V. Khatymov*  
Phenomenological model of the thermodynamic functions  
for energetically most stable isomers of fullerenes ..... 18

## BIOLOGY, BIOCHEMISTRY AND GENETICS

- A.Sh. Akhmetova, A.A. Zaripova*  
*In vitro* propagation of some species of the genus *Hedysarum* L. .... 28
- F.K. Murzabulatova, N.V. Polyakova*  
Promising ornamental shrubs of the genera *Pentaphylloides* Duham. and *Spiraea* L.  
for gardening in the Republic of Bashkortostan ..... 34
- L.Kh. Uzyanbaeva, L.N. Mironova*  
Ontogeny of *Dianthus seguieri* Vill. in the Bashkir Cis-Urals ..... 40
- T.Yu. Korshunova, O.N. Loginov*  
Toxicological research on the biological oil-destructor ..... 45
- G.E. Aktuganov, N.F. Galimzianova, N.V. Zharikova, E.Yu. Zhurenko,*  
*V.V. Korobov, T.R. Yasakov, T.V. Markusheva*  
Chitinolytic activity and antagonistic properties of chlorphenoxiacetic acid degrading bacteria ..... 50
- Yu.N. Tokarev, S.G. Lelekov, F.M. Lyakh, S.A. Tsarin*  
History of development, work principles and prospects of identification expert systems  
for marine hydrobionts ..... 57
- G.A. Zaytsev, A.Yu. Kulagin, R.V. Urazgildin, O.A. Dubrovina, K.V. Logvinov,*  
*N.A. Afanasov, A.N. Chaban, R.I. Shaynurov, O.V. Tagirova, K.Z. Amineva*  
Relative vital condition of woody plantings under industrial pollution ..... 63

<i>M.N. Kravtsova, G.F. Ryzhkova</i> Free amino acid content in rabbit erythrocytes and blood plasma with pyridoxine and sulfur-containing additives administered into the diet .....	69
<i>V.V. Korobov, S.N. Starikov, A.I. Sagitova, E.Yu. Zhurenko, N.V. Zharikova, T.R. Yasakov, T.V. Markusheva</i> Phenol degrading strains of the genus <i>Bacillus</i> isolated from industrial environments .....	73
<i>S.M. Aznabaeva, E.Z. Baisheva</i> On the bryophyte flora in the steppes of the Bashkir Trans-Urals .....	78
<i>T.M. Lysenko, S.M. Yamalov</i> Syntaxonomy and ordination of some steppe types in the Central and Lower Volga Regions .....	84
<i>L.G. Gergiya, L.M. Abramova, E.A. Ayba</i> Analysis of the adventive fraction of the family Asteraceae in the flora of Abkhazia .....	90

## EARTH SCIENCES

<i>T.T. Kazantseva</i> Clarifying the long-standing problem on the structural continuation of the South Urals .....	95
--	----

## HISTORY, ARCHAEOLOGY, ETHNOLOGY

<i>Sh.N. Isyangulov</i> Matriarchal remnants among Bashkirs in the 9th to 16th centuries .....	107
---	-----

## BOOK REVIEW

<i>R.Yu. Sibagatova, D.M. Galiullina</i> Editions of Mikhail Lomonosov's works in the Rare Books Department of the Science Library, Ufa Scientific Centre, RAS .....	113
---	-----

УДК 539.194+535.37

**НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫЕ ТРИПЛЕТНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ 1Н-1,2,4-ТРИАЗОЛ-5-ТИОЛА**

© С.Н. Цеплина, С.С. Остахов, Р.Р. Каюмова, Е.Е. Цеплин

В настоящее время продолжается активный поиск и синтез новых соединений, относящихся к 1,2,4-триазольному ряду, поскольку они являются перспективными противоопухолевыми, противомикробными, антидепрессивными и противотуберкулезными фармакологическими препаратами. В проведенной работе исследуется спектр поглощения 1Н-1,2,4-триазол-5-тиола (TzSH), а именно той его части, где наблюдается триплетное поглощение. В работе получены спектр поглощения и спектр возбуждения люминесценции TzSH в растворе метанола. В спектре поглощения обнаружены две области поглощения, расположенные при меньших энергиях, чем энергия адиабатического перехода в первое синглетное состояние  $S_1$ . Это свидетельствует о том, что данные области поглощения соответствуют переходам в триплетные состояния.

Выполнен расчет TD DFT B3LYP/6-311+G(d, p) электронного спектра водородного комплекса молекулы TzSH с двумя молекулами метанола. Согласно расчетным данным, ниже по энергии первого синглетного состояния в водородном комплексе TzSH действительно находятся два триплетных состояния  $T_1$  и  $T_2$ . Для более точного определения энергий триплетных переходов был записан спектр возбуждения фосфоресценции TzSH. Полученная кривая возбуждения состоит из двух полос возбуждения, энергии которых соответствуют вышеуказанным областям энергий триплетного поглощения. Первая полоса возбуждения с максимумом при энергии 2.86 эВ соответствует, согласно расчетным данным, электронному переходу с высшей занятой молекулярной орбитали (ВЗМО)  $n_S$  на  $\pi^*_{(C=N)3}$  в триплетное состояние  $T_1$ . На этой полосе наблюдается колебательная структура с энергией  $\sim 0,14$  эВ. Согласно расчету колебательного спектра комплекса TzSH с двумя молекулами метанола методом DFT B3LYP/6-311+G(d, p), этой энергии соответствуют плоские деформационные колебания триазольного кольца с частотой  $1019 \text{ см}^{-3}$  и интенсивностью  $33 \text{ км/моль}$ . Вторая полоса возбуждения имеет максимум при энергии 3.40 эВ и соответствует переходу с той же ВЗМО  $n_S$  на низшую вакантную молекулярную орбиталь (НВМО)  $\sigma^*_{S-H}$  во второе возбужденное триплетное состояние  $T_2$ .

Таким образом, на основании сопоставления данных расчета, спектра поглощения и спектра возбуждения люминесценции определены энергии и электронные конфигурации низкоэнергетичных электронно-возбужденных триплетных состояний TzSH.

Ключевые слова: 1Н-1,2,4-триазол-5-тиол, возбужденные триплетные состояния, спектр поглощения, спектр возбуждения люминесценции.

**Введение.** Триазолы и их производные обладают высокой и разнообразной биологической активностью [1]. При этом в настоящее время продолжается активный поиск и синтез новых соединений, относящихся к 1,2,4-триазольному ряду, поскольку они являются перспективными противоопухолевыми, противомикробными, антидепрессивными и противотуберкулезными

фармакологическими препаратами [2–6]. Среди этих новых потенциальных лекарственных препаратов на основе 1,2,4-триазола часто встречаются соединения, содержащие заместители с атомом серы [5–6]. Одним из методов идентификации вновь созданных лекарственных препаратов, результаты исследования которых входят в их досье, является спектроскопия поглощения, в связи с

ЦЕПЛИНА Светлана Николаевна – к.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: SN\_Tseplina@mail.ru

ОСТАХОВ Сергей Станиславович – к.х.н., Уфимский институт химии РАН, e-mail: ostahov@anrb.ru

КАЮМОВА Регина Робертовна – к.х.н., Уфимский институт химии РАН, e-mail: regina.kayumova.86@mail.ru

ЦЕПЛИН Евгений Евгеньевич – к.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: tzeplin@mail.ru

чем спектры поглощения замещенных 1,2,4-триазол-тионов (тиолов) активно исследуются [7–8]. При этом важно знать вид и интерпретацию спектра поглощения модельного соединения 1Н-1,2,4-триазол-5-тиола.

Начало исследования коротковолновой части спектра поглощения TzSH, обусловленного синглетными переходами, было выполнено в работе [9]. Настоящая работа является продолжением исследования спектра поглощения TzSH, а именно той его части, где наблюдается триплетное поглощение.

Замещенные производные 1,2,4-триазола плохо растворяются в неполярных и хорошо в полярных растворителях, поэтому в настоящей работе спектр поглощения TzSH исследуется в растворе метанола. Хорошо известно, что в полярном растворителе образуются водородные комплексы, которые оказывают существенное влияние на энергии полос (специфические эффекты растворителя) [10]. Вследствие чего для интерпретации спектра поглощения в настоящей работе был использован расчет методом TDDFT B3LYP/6-311+G(d, p) водородного комплекса TzSH с двумя молекулами метанола, поскольку расчет этим методом водородных комплексов с молекулами метанола хорошо воспроизводит спектры их поглощения в растворе метанола [10].

**Экспериментальная часть.** Спектр поглощения 1Н-1,2,4-триазол-5-тиола записан в растворе метанола (Fluka, Hydranal  $\geq$  99.99%) на спектрофотометре Shimadzu UV-2401, спектр возбуждения люминесценции TzSH регистрировали также в растворе метанола на спектрофлуорофотометре Shimadzu RF-5301 PC при температуре 298 К. Расчет электронного спектра комплекса TzSH с двумя молекулами метанола был выполнен методом TDDFT для 50 синглетных и 10 триплетных возбужденных состояний на основе функционала B3LYP и базисного набора 6-311+G(d, p) после предварительной оптимизации геометрии комплекса по полной энергии методом DFT B3LYP/6-311+G(d, p).

**Обсуждение и результаты.** Спектры поглощения *Ia* – *IIIa* (сплошная линия) и воз-

буждения люминесценции *Ie* – *Ile* (штриховой пунктир) TzSH в растворе метанола показаны на рис. *a*. Интенсивность кривых возбуждения люминесценции *Ie* – *Ile* нормирована по интенсивности полосы поглощения при энергиях 3.5–4.2 эВ (*Ila*), соответствующей синглетному переходу в состояние  $S_1$ .

Расчетный электронный спектр водородного комплекса TzSH с двумя молекулами метанола методом TDDFT B3LYP/6-311+G(d, p) показан на рис. *б*. Молекулярные орбитали комплекса показаны в табл. 1.

Интерпретация спектров поглощения и возбуждения люминесценции TzSH в растворе метанола приведена в табл. 2. Как видно из сопоставления рис. *a* и *б*, расчетный электронный спектр комплекса хорошо воспроизводит форму кривой спектра поглощения TzSH в метаноле, но шкала расчетных энергий сдвинута на 1.1 эВ в сторону больших энергий.

Самая интенсивная полоса ( $\epsilon = 1.6 \cdot 10^3$  м<sup>2</sup>/моль) в спектре поглощения TzSH (см. рис. *a*) имеет максимум при энергии 4.92 эВ и соответствует, согласно расчету электронного спектра комплекса, преимущественно самому интенсивному ( $f = 0.1728$ ) электронному переходу с ВЗМО неподеленной пары атома серы  $n_s$  на  $\pi^*_{(C=N)_3}$  триазольного кольца (см. табл. 1) в состоянии  $S_4$  (см. табл. 2). Переходы в возбужденные состояния  $S_3$  и  $S_2$ , согласно расчетным данным (см. табл. 2), являются слабоинтенсивным и скрыты полосой  $S_0 \rightarrow S_4$  перехода. Низкоэнергетичное плечо ( $\epsilon \approx 1$  м<sup>2</sup>/моль) этой полосы при 4.0 эВ соответствует переходу с той же ВЗМО  $n_s$  на НВМО  $\sigma^*_{S-H}$ , являющейся разрыхляющей молекулярной орбиталью (МО) S–H связи (см. табл. 1), в первое возбужденное синглетное состояние  $S_1$  (см. табл. 2). Как видно на рис. *a*, спектр возбуждения флуоресценции (*Ie*) воспроизводит плечо полосы поглощения (*Ila*), соответствующее электронному переходу в состояние  $S_1$ . Этот факт является дополнительным доказательством отнесения этого плеча к электронному переходу в первое синглетно-возбужденное состояние  $S_1$ , поскольку именно из состояния  $S_1$  и происхо-

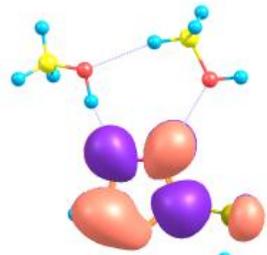
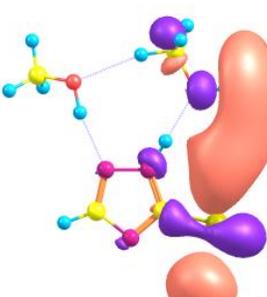
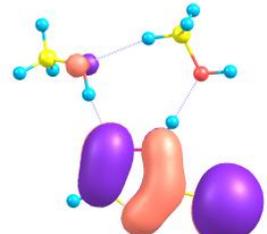
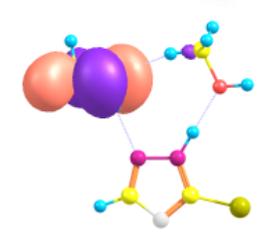
дит флуоресценция. Падение интенсивности в спектре возбуждения флуоресценции (см. рис. а, зависимость  $I_e$ ) при энергии более 4.2 эВ обусловлено интенсивным поглощением возбуждающего излучения метанольным раствором TzSH.

В диапазоне энергий от 2.6 до 3.5 эВ спектра поглощения (рис. а, зависимость  $I_{3a}$ ) наблюдаются две области слабоинтен-

сивного поглощения: 2.6–3.2 эВ и плечо при 3.2–3.5 эВ. Поскольку этот диапазон энергий меньше энергии адиабатического перехода в первое возбужденное синглетное состояние  $S_1$  (3.5 эВ), то эти области поглощения соответствуют электронным переходам в триплетные состояния. Согласно расчетным данным, ниже по энергии первого синглетного состояния в водород-

Т а б л и ц а 1

Молекулярные орбитали комплекса 1H-1,2,4-триазол-5-тиола с 2 молекулами метанола, рассчитанные методом B3LYP/6-311+G(d,p)

№	Обозначение МО	Вид МО	$E_{MO}$ (эВ)
46	$\pi^*_{(C=N)3}$		-0.28
45	$\sigma^*_{S-H}$		-0.68
44	$n_S$		-6.80
43	$n_{2O}$		-7.16

ном комплексе TzSH действительно находятся два триплетных состояния  $T_1$  и  $T_2$ . (см. табл. 2). Для более точного определения энергий триплетных переходов был записан спектр возбуждения фосфоресценции TzSH (см. рис. а, зависимость *Ie*). Полученная кривая возбуждения состоит из двух полос возбуждения, энергии которых соответствуют вышеуказанным областям энергий триплетного поглощения. Первая полоса возбуждения с максимумом при энергии 2.86 эВ соответствует, согласно расчетным данным, электронному переходу с ВЗМО  $n_S$  на  $\pi^*_{(C=N)3}$  в триплетное состояние  $T_1$ . На

этой полосе наблюдается колебательная структура с энергией  $\sim 0,14$  эВ. Согласно расчету колебательного спектра комплекса TzSH с двумя молекулами метанола методом DFT B3LYP/6-311+G(d,p), этой энергии соответствуют плоские деформационные колебания триазольного кольца с частотой  $1019\text{ см}^{-3}$  и интенсивностью 33 км/моль. Вторая полоса возбуждения имеет максимум при энергии 3.40 эВ и соответствует переходу с той же ВЗМО  $n_S$  на НВМО  $\sigma^*_{S-H}$  во второе возбужденное триплетное состояние  $T_2$  (см. табл. 2).

Таблица 2

Отнесение полос поглощения 1Н-1,2,4-триазол-5-тиола в растворе метанола на основании расчета TDDFT B3LYP/6-311+G(d,p)

S	ЗМО-ВМО	$E^{\text{рас}}$	$f$	$E^{\text{экс}}$	$\varepsilon$
$T_1$	$n_S \rightarrow \pi^*_{(C=N)3}$	4.32	0	2.86	
$T_2$	$n_S \rightarrow \sigma^*_{S-H}$	4.79	0	3.40	
$S_1$	$n_S \rightarrow \sigma^*_{S-H}$	5.11	0.0028	4.0	$\sim 0.001$
$S_2$	$n_S \rightarrow \sigma^*_{I(O-H)}$	5.76	0.0103		
$S_3$	$n_O \rightarrow \sigma^*_{S-H}$	5.96	0.0017		
$S_4$	$n_S \rightarrow \pi^*_{(C=N)3}$	6.03	0.1728	4.92	1.60
$S_5$	$n_S \rightarrow \sigma^*_{C-S}$	6.05	0.0532		

Примечания. S, T – номера возбужденных синглетных и триплетных состояний; ЗМО-ВМО – тип МО;  $E^{\text{рас}}$  и  $E^{\text{экс}}$  – расчетные и экспериментальные вертикальные энергии переходов (эВ);  $f$  – сила осциллятора;  $\varepsilon$  – молярный показатель поглощения ( $10^3\text{ м}^2/\text{моль}$ ).

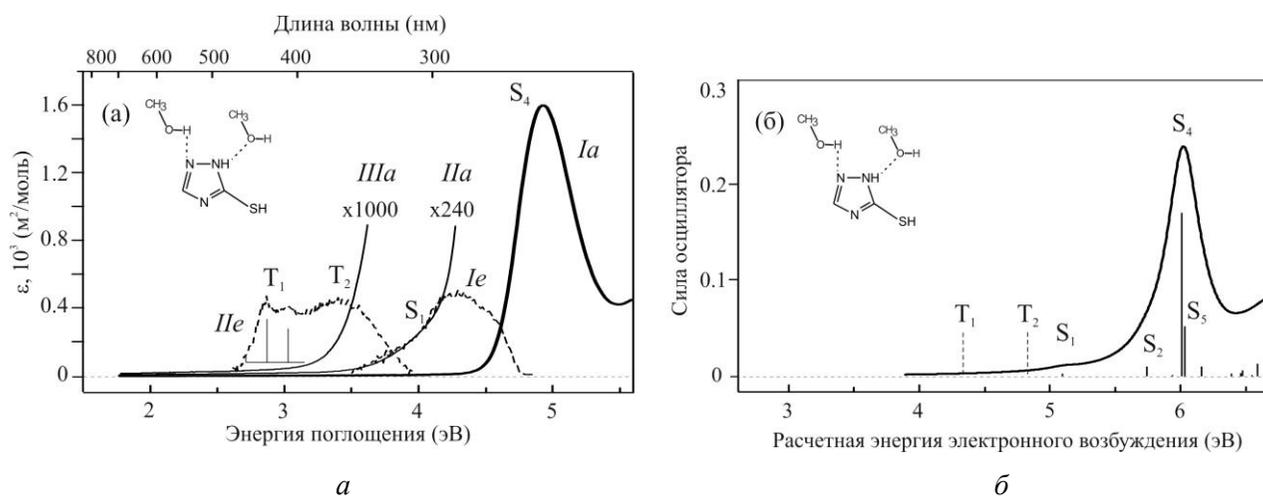


Рис. а – спектр поглощения 1Н-1,2,4-триазол-5-тиола в растворе метанола (сплошные линии *Ia-IIIa*); спектр возбуждения люминесценции 1Н-1,2,4-триазол-5-тиола в растворе метанола, записанный при энергиях возбуждения 3.40 эВ (штриховой пунктир *Ie*) и 2.48 эВ (штриховой пунктир *He*); б – электронный спектр комплекса 1Н-1,2,4-триазол-5-тиола с двумя молекулами метанола, рассчитанный методом TDDFT B3LYP/6-311+G(d, p)

Таким образом, определены энергии и спектроскопические состояния двух низших триплетов TzSH. Эти триплетные состояния преимущественно определяются переходами с ВЗМО  $n_s$ , являющейся неподеленной парой атома серы  $\pi$  типа, на ВМО  $\pi^*_{(C=N)3}$  и  $\sigma^*_{S-H}$  молекулы TzSH.

Спектры поглощения и люминесценции были получены на оборудовании ЦКП "Спектр" ИФМК УНЦ РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Машковский М.Д. Лекарственные средства. М., Новая волна. 2012. 1216 с.
2. Toraskar M.P., Kadam V.J., Kulkarni V.M. Synthesis and antimicrobial activity of functional analogues of fluconazole // *Inter. J. Pharm. Pharmaceutical Sci.* 2010. V. 2, Is. 2. P. 132–133.
3. Parmar K., Suthar B., Prajapati S., Suthar A. Synthesis and biological activity of novel 1,3,5-trisubstituted 1,2,4-triazole derivatives // *J. Heterocycl. Chem.* 2010. V. 47, Is. 1. P. 156–161.
4. Rani S.S., Agaiah B., Sarangapani M. Antioxidant and DNA binding study 3,3'-(5,5'-methylene bis(3-mercapto-4H-1,2,4-triazole-5,4-diyl)bis(azan-1-yl-1ylidene)diindolin-2-ones // *Inter. J. Pharm. Technol.* 2010. V. 2, Is. 2. P. 366–374.
5. Kudryavtseva T.N., Sysoev P.I., Nazarov G.V., Popkov S.V., Klimova L.G. Synthesis and antimicrobial activity of some acridone derivatives bearing 1,3,4-thiadiazole and 1,2,4-triazole moieties // *Russian Chemical Bulletin*. 2015. V. 64, № 2. C. 445–450.
6. Bektaş H., Karaali N., Şahin D., Demirbaş A., Karaoglu Ş.A., Demirbaş N. Synthesis and Antimicrobial Activities of Some New 1,2,4-Triazole Derivatives // *Molecules*. 2010. V. 15. P. 2427–2438.
7. Gökcea H., Öztürkb N., Taşanc M., Alpasland Y.B., Alpaslan G. Spectroscopic characterization and quantum chemical computations of the 5-(4-pyridyl)-1H-1,2,4-triazole-3-thiol molecule // *Spectroscopy letters*. 2016. V. 49, N. 3. P. 167–179.
8. Xavier R.J.; Gobinath E. FT-IR, FT-Raman, ab initio and DFT studies, HOMO-LUMO and NBO analysis of 3-amino-5-mercapto-1,2,4-triazole // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2012, vol. 86, pp. 242–251.
9. Tseplin E.E., Tseplina S.N. Electronically excited states 1H-1,2,4-triazole-5-thiol. Структура и динамика молекулярных систем. Collected papers. Moscow, 2016, pp. 250–257.
10. Tseplin E.E., Tseplina S.N., Khvostenko O.G. Specific effects of a polar solvent in optical absorption spectra of 1,2-naphthoquinone // *Optics and Spectroscopy*, 2016, vol. 120, no. 2, pp. 274–279.

#### References

1. Mashkovsky M.D. Pharmaceutical products. Moscow, Novaya volna, 2012. 1216 p.
2. Toraskar M.P., Kadam V.J., Kulkarni V.M. Synthesis and antimicrobial activity of functional analogues of fluconazole. *Inter. J. Pharm. Pharmaceutical Sci.*, 2010, vol. 2, no. 2, pp. 132–133.
3. Parmar K., Suthar B., Prajapati S., Suthar A. Synthesis and biological activity of novel 1,3,5-trisubstituted 1,2,4-triazole derivatives. *J. Heterocycl. Chem.*, 2010, vol. 47, no. 1, pp. 156–161.
4. Rani S.S., Agaiah B., Sarangapani M. Antioxidant and DNA binding study 3,3'-(5,5'-methylene bis(3-mercapto-4H-1,2,4-triazole-5,4-diyl)bis(azan-1-yl-1ylidene)diindolin-2-ones. *Inter. J. Pharm. Technol.*, 2010, vol. 2, no. 2, pp. 366–374.
5. Kudryavtseva T.N., Sysoev P.I., Nazarov G.V., Popkov S.V., Klimova L.G. Synthesis and antimicrobial activity of some acridone derivatives bearing 1,3,4-thiadiazole and 1,2,4-triazole moieties. *Russian Chemical Bulletin*, 2015, vol. 64, no. 2, pp. 445–450.
6. Bektaş H., Karaali N., Şahin D., Demirbaş A., Karaoglu Ş.A., Demirbaş N. Synthesis and Antimicrobial Activities of Some New 1,2,4-Triazole Derivatives. *Molecules*, 2010, vol. 15, pp. 2427–2438.
7. Gökcea H., Öztürkb N., Taşanc M., Alpasland Y.B., Alpaslan G. Spectroscopic characterization and quantum chemical computations of the 5-(4-pyridyl)-1H-1,2,4-triazole-3-thiol molecule. *Spectroscopy Letters*, 2016, vol. 49, no. 3, pp. 167–179.
8. Xavier R.J.; Gobinath E. FT-IR, FT-Raman, ab initio and DFT studies, HOMO-LUMO and NBO analysis of 3-amino-5-mercapto-1,2,4-triazole. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2012, vol. 86, pp. 242–251.
9. Tseplin E.E., Tseplina S.N. Electronically excited states 1H-1,2,4-triazole-5-thiol. Структура и динамика молекулярных систем. Collected papers. Moscow, 2016, pp. 250–257.
10. Tseplin E.E., Tseplina S.N., Khvostenko O.G. Specific effects of a polar solvent in optical absorption spectra of 1,2-naphthoquinone. *Optics and Spectroscopy*, 2016, vol. 120, no. 2, pp. 274–279.

**LOW-ENERGY EXCITED TRIPLET STATES OF 1H-1,2,4-TRIAZOLE-5-THIOL**

© S.N. Tseplina<sup>1</sup>, S.S. Ostakhov<sup>2</sup>, R.R. Kayumova<sup>2</sup>, E.E. Tseplin<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Ufa Institute of Chemistry, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

Active search and synthesis of new compounds related to the 1,2,4-triazole series are still being continued, as they represent promising antitumor, antimicrobial, antidepressant and anti-tuberculosis pharmacological preparations. This study deals with the absorption spectrum of 1H-1,2,4-triazole-5-thiol (TzSH), namely, the part where triplet absorption is observed. The absorption and excitation spectra of TzSH are measured in methanol solution. The absorption spectrum has two absorption regions located at lower energies than the energy of the adiabatic transition to the first singlet state  $S_1$ . This indicates that these absorption regions correspond to transitions to triplet states.

An electronic spectrum of the hydrogen-bonded complex 1H-1,2,4-triazole-5-thiol with two methanol molecules is calculated using the TDDFT B3LYP/6-311+G(d, p) method. According to the calculated data, two triplet states  $T_1$  and  $T_2$  are actually located at the energy lower than the energy of the first singlet state in the hydrogen complex TzSH. For a more accurate determination of the triplet transition energies, the excitation spectrum of phosphorescence TzSH is recorded. The recorded excitation curve consists of two excitation bands, the energies of which correspond to the above-mentioned regions of the triplet absorption energies. The first excitation band with a maximum at 2.86 eV corresponds, according to calculated data, to an electronic transition from the highest occupied molecular orbital (HOMO)  $n_S$  to  $\pi^*(C=N)_3$  to the triplet state  $T_1$ . A vibrational structure with the energy of  $\sim 0.14$  eV is observed on this band. In accordance with the calculation of the vibrational spectrum of the TzSH complex with two methanol molecules using the DFT B3LYP/6-311+G(d, p) method, this energy corresponds to plane deformation vibrations of the triazole ring with a frequency of  $1019\text{ cm}^{-3}$  and an intensity of 33 km/mole. The second excitation band has a maximum at 3.40 eV and corresponds to transition with the same HOMO  $n_S$  to the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO)  $\sigma^*_{S-H}$  into the second excited triplet state  $T_2$ .

Thus, based on comparison of the calculated data, the absorption spectrum, and the luminescence excitation spectrum, we determine the energies and electronic configurations of the low-energy electronically excited triplet states TzSH.

Key words: 1H-1,2,4-triazole-5-thiol, excited triplet states, absorption spectrum, excitation spectrum.

УДК 544.03

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОДЕЛЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ

© О.Г. Кантор, С.И. Спивак

В рамках химической кинетики все химические реакции рассматриваются как динамические процессы, протекающие по определенному закону. Установление точного вида кинетических уравнений осуществляется на основе математической обработки экспериментальных данных, в ходе которой проводится оценка ряда показателей, характеризующих качество построенных зависимостей. При этом категория «качество» может трактоваться двояко. В обычном понимании это принципиальная способность модели описывать исследуемый объект («да» – описывает, «нет» – не описывает); в расширенном понимании «качество» модели характеризуется некоторой числовой величиной, принимающей значения в определенном интервале. При первом подходе вся совокупность моделей делится на два непересекающихся подмножества, и те модели, которые попадают в подмножество «качественных», не дифференцируются между собой, что может явиться источником неопределенности в случае необходимости выбора лучшей среди них. С этой точки зрения расширенное понимание качества модели позволяет не только определять лучшую и осуществлять попарное сравнение моделей между собой, но и устанавливать иерархию уровней качества путем разбиения интервала значений характеристики качества на непересекающиеся подынтервалы.

В настоящей работе с позиций расширенного понимания качества моделей приводятся результаты решения задачи идентификации уравнения химической кинетики, исследованного Я.Г. Вант-Гоффом, в котором определению подлежит константа скорости химической реакции. Основу разработанного метода решения задач параметрической идентификации составляют идеи равномерного приближения и подход Л.В. Канторовича к выявлению областей расположения искомым и наблюдаемым величин. Применение разработанного метода позволяет рассчитывать интервалы неопределенности, представляющие собой множества значений для констант скоростей исследуемых реакций, гарантирующих достижение заданной точности описания экспериментальных данных.

Приведены результаты сравнительного анализа рассчитанного интервала неопределенности для константы скорости исследуемой реакции и интервалов ее значений, полученных на основе применения статистических методов. Показаны преимущества использования разработанного метода с позиций обеспечения качественных характеристик моделей химической кинетики.

Ключевые слова: константы скорости, идентификация кинетических уравнений, интервалы неопределенностей.

Под задачей оценки качества модели будем подразумевать задание некоторого числового критерия и алгоритм его идентификации, позволяющий ответить на вопрос, описывает ли модель изучаемую систему с требуемым уровнем качества, что в нашем понимании соответствует попаданию значений введенного критерия внутрь заданного интервала.

Знание констант скоростей реакций позволяет выписать кинетические уравнения, адекватно описывающие исследуемую

реакцию. Кинетическое уравнение самой простой химической реакции, характеризующего уменьшение концентрации вещества ( $a$ ) во времени ( $t$ ), в зависимости от константы скорости реакции ( $k$ ) задается следующим образом:

$$\frac{da}{dt} = -ka. \quad (1)$$

Для установления справедливости выражения (1) Я.Г. Вант-Гофф исследовал «превращение дибромиянтарной кислоты в бромистоводородную и бромомалеиновую» [1]:



В ходе эксперимента в моменты времени  $t_n$  измерялись титры ( $T_n$ ), на основании которых рассчитывались значения константы скорости реакции  $k$  по формуле:

$$k = \frac{1}{t} \cdot \lg \frac{T_0}{3T_0 - 2T_n}. \quad (3)$$

Условия проведения реакции гарантировали постоянство константы скорости реакции. Это позволило осуществлять оценку качества модели на основании анализа рассчитанных по формуле (3) значений  $k$ . В случае близких значений константы скорости подтверждалось предположение о справедливости кинетического уравнения (1).

Концентрация дибромянтарной кислоты в момент времени  $t_n$  определялась соотношением:

$$a_n = a_0 \left( 3 - \frac{2T_n}{T_0} \right), \quad (4)$$

где  $a_0$  – концентрация в начальный момент  $t_0$ . Описывая свои опыты (табл. 1), Вант-Гофф не использовал в явном виде концентрации дибромянтарной кислоты  $a_n$  и не приводил данные для ее начального значения. По этой причине, а также в силу того, что на значение константы скорости реакции оказывает влияние отношение  $a_n/a_0$ , далее будем полагать начальную концентрацию  $a_0$  равной условной единице.

Размах вариации значений  $k$  соответствует отрезку [0.0285, 0.0329], ее среднее значение  $k_{cp}=0.0311$  при коэффициенте вариации  $V=3.81\%$ . Таким образом, экспериментально была установлена справедливость модели (1). При этом очевидно, что для идентификации уравнения (1) необходимо задать фиксированное значение

Т а б л и ц а 1

Экспериментальные данные для реакции (2)

$t$ , мин.*	$T$ , г/см <sup>3</sup>	$k^{**}$ , мин. <sup>-1</sup>	$a^{\text{экс}}$ , согласно (4)	$a$ , согласно (5)	$(a - a^{\text{экс}})/a^{\text{экс}}$ , %
0	10.21	–	1	1	0
2	10.53	0.0324	0.9373	0.9398	0.26
4	10.79	0.0302	0.8864	0.8832	-0.36
6	11.05	0.0300	0.8355	0.8300	-0.65
8	11.25	0.0285	0.7963	0.7800	-2.04
10	11.55	0.0317	0.7375	0.7330	-0.61
13	11.94	0.0318	0.6611	0.6678	1.02
16	12.29	0.0327	0.5926	0.6084	2.68
19	12.53	0.0319	0.5455	0.5543	1.61
22	12.84	0.0329	0.4848	0.5050	4.16
26	13.03	0.0320	0.4476	0.4460	-0.35
30	13.30	0.0310	0.3947	0.3939	-0.20
34	13.57	0.0316	0.3418	0.3479	1.78
39	13.71	0.0308	0.3144	0.2979	-5.26
45	14.05	0.0310	0.2478	0.2472	-0.23
52	14.32	0.0314	0.1949	0.1989	2.06
60	14.52	0.0310	0.1557	0.1552	-0.36
71	14.69	0.0296	0.1224	0.1103	-9.93
90	15.03	0.0321	0.0558	0.0611	9.48

Примечания. \* – данные получены Я.Г. Вант-Гоффом [1]; \*\* – данные получены посредством деления значений выражения (3) [1] на  $\ln 10$ .

константы скорости реакции  $k$ . Сам Вант-Гофф величину константы скорости реакций устанавливал путем усреднения полученных экспериментальных значений для  $k$  [1]. Если аналогичный подход применить к рассматриваемой реакции, то концентрация в произвольный момент времени будет задаваться формулой:

$$a = a_0 e^{-0.0311 t}. \quad (5)$$

Вычисленные в соответствии с (5) значения концентраций (см. табл. 1) отличаются от полученных экспериментально. Среднее значение модулей их изменений по отношению к  $a^{\text{эксп}}$  (далее средняя погрешность аппроксимации) составило 2.39%, что свидетельствует о достаточно высокой точности описания экспериментальных данных в целом. Однако экспериментальные значения концентраций в моменты времени  $t_{17} = 71$  и  $t_{18} = 90$  расходятся с рассчитанными по модели (5) на 9.93 и 9.48% соответственно, что по сравнению с другими показателями достигнутой точности описания отдельных экспериментов может считаться недостаточным.

Общеизвестно, что при проведении любых экспериментов измерения производятся с некоторыми погрешностями. Если предположить, что в момент времени  $t_{17} = 71$  при измерении титра была допущена погрешность в полпроцента (т.е.  $T_{17} = T|_{t_{17}=71} = 14.76$ , а не 14.69), то значение константы скорости реакции в этот момент времени, согласно (3), составит 0.0313. Таким образом, среднее значение константы скорости станет равной  $k_{cp} = 0.03115$ , что изменит среднюю погрешность аппроксимации до 1.90%, а расхождения экспериментальных и расчетных значений концентраций в моменты времени  $t_{17} = 71$  и  $t_{18} = 90$  составят соответственно 1.35 и 8.52%.

В этой связи логичным является вопрос о том, каким именно следует принять значение константы скорости реакции. При этом надо понимать, что могут существовать несколько значений констант, описывающих экспериментальные данные в пределах до-

пустимой погрешности, которые могут существенно различаться. Таким образом, актуальной является задача определения интервала значений константы скорости реакции, каждая точка внутри которого описывает измерения с заданным уровнем точности. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость использования соответствующих моделей и введение критерия, позволяющего оценивать их качество.

В математической статистике подобная задача решается путем введения доверительных интервалов, для нахождения которых необходима информация о виде закона распределения погрешности измерений, которая в кинетическом эксперименте отсутствует. Так, например, по умолчанию подразумеваемая справедливость нормального закона распределения для погрешностей измерения, широко используют метод наименьших квадратов.

Область значений параметров, обеспечивающих требуемую точность описания экспериментальных данных без использования информации о законе распределения погрешности измерений, может быть установлена с помощью методов математического программирования [2, 3]. Покажем это на примере рассматриваемой задачи.

Будем рассматривать константу скорости  $k$  в качестве приемлемой, если она обеспечивает близость расчетных и экспериментальных данных в каждом эксперименте. Это приводит к системе неравенств:

$$|a_n^{\text{расч}} - a_n^{\text{эксп}}| \leq \xi_n, \quad n = \overline{1, 19}, \quad (6)$$

где  $a_n^{\text{расч}}$  и  $a_n^{\text{эксп}}$  – расчетное и экспериментальное значения концентрации в момент времени  $t_n$ ,  $\xi_n$  – числа, характеризующие точность измерения  $a_n^{\text{эксп}}$ .

Совокупность всех констант  $k$ , гарантирующих выполнение ограничений (6), будем называть интервалом неопределенности и обозначать  $[k^{\min}, k^{\max}]$ . Постановка задач определения таких интервалов при условии удовлетворения системы ограничений (6) принадлежит создателю линейного программирования Л.В. Канторовичу и

изложена в его докладе Сибирскому математическому обществу в 1962 г. [4]. Решение задачи в постановке Л.В. Канторовича не требует знания информации о статистических свойствах распределения погрешности измерений: величины  $\xi_n$  в системе неравенств (6) являются характеристиками предельно допустимой погрешности эксперимента, информация о величине которых, как правило, присутствует у экспериментатора. Если при этом ввести в рассмотрение величину  $\xi = \max_{n=1,19} \xi_n$ , то вместо системы неравенств (6) можно перейти к следующей системе:

$$|a_n^{\text{расч}} - a_n^{\text{эксп}}| \leq \xi, \quad n = \overline{1,19}, \quad (7)$$

справедливость которой гарантирует равномерную точность описания всех экспериментальных данных. Тогда выполнение условий (7) означает, что модель (1) описывает измерения в пределах, обусловленных величиной предельно допустимой погрешности измерений  $\xi$ . Заметим, что исследователь может обладать информацией о величине предельно допустимой погрешности измерений  $\xi$ , например, на основании характеристик применяемых в опыте приборов.

На основании вышеизложенного приходим к следующей модели для идентификации кинетического уравнения (1):

$$\begin{aligned} \xi &\rightarrow \min, \\ |a_n^{\text{эксп}} - a_n^{\text{расч}}| &\leq \xi, \quad n = \overline{1,19}, \\ k &\geq 0, \quad \xi \geq 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Расчетное значение концентрации  $a_{n+1}^{\text{расч}}$  определялось на основании метода Рунге-Кутты четвертого порядка [5]. При решении задачи (8) было получено единственное оптимальное решение:  $k^* = 0.03122$  и  $\xi^* = 0.01840$ . Полученному значению константы отвечает средняя погрешность аппроксимации 2.42%. Величина  $\xi^*$  показывает, что константа скорости  $k^*$  в каждом эксперименте обеспечивает описание концентрации с абсолютной погрешностью, не превышающей 0.01840.

В табл. 2 приводятся значения константы скорости реакции, рассчитанные при рассмотренных условиях проведения численного эксперимента. При этом в целях проведения комплексного сравнительного анализа подходов к моделированию было осуществлено построение регрессионной зависимости, являющейся решением дифференциального уравнения (1) при начальной концентрации  $a_0 = 1$ :

$$a = e^{-kt}. \quad (9)$$

Все полученные уравнения регрессии (9) и определяющие их константы  $k$  являются статистически значимыми, что подтверждается высокими значениями  $F$ -критерия Фишера и  $t$ -критерия Стьюдента.

Как следует из представленных данных (см. табл. 2), значения констант скорости, рассчитанные в соответствии с тремя рассмотренными подходами, незначительно

Т а б л и ц а 2

Результаты моделирования константы скорости реакции  $k^*$ ,  $\text{мин}^{-1}$

Условия проведения численного эксперимента	Метод расчета константы скорости		
	среднее экспериментальное	согласно модели (8)	согласно модели (9)
Без учета погрешности в экспериментальных данных	0.03105 (2.39%)	0.03122 (2.42%)	0.03110 (2.40%)
С учетом 0.5-процентной погрешности в титрах при $t=71$ ( $T_{18} = 14.76$ )	0.03115 (1.90%)	0.03122 (1.86%)	0.03143 (1.80%)
С учетом 0.5-процентной погрешности в титрах при $t=39$ и $t=71$ ( $T_{14} = 13.78$ и $T_{18} = 14.76$ )	0.03121 (1.63%)	0.03128 (1.59%)	0.03149 (1.61%)

Примечание: \* – в скобках приведены значения средней ошибки аппроксимации экспериментальных данных.

отличаются друг от друга и обеспечивают близкие показатели точности описания экспериментальной информации. Тем самым еще раз подтверждается тезис о целесообразности определения интервала значений для константы скорости реакции  $k$ .

В тех случаях, когда обработка экспериментальных данных осуществляется на основе математико-статистических методов, в качестве таких интервалов могут быть использованы диапазоны однородных значений и доверительные интервалы [6]. Расчет интервала неопределенности  $[k^{\min}, k^{\max}]$  с позиций равномерного приближения экспериментальных данных осуществляется на основании оптимального решения задачи (8). Для определения границ интервала неопределенности выпишем следующую задачу:

$$k \rightarrow \min (\max) \quad |a_n^{\text{эксп}} - a_n^{\text{расч}}| \leq \xi^* (1 + \delta), \quad n = \overline{1, 19}, \quad (10)$$

$$k \geq 0,$$

где  $\delta \geq 0$  – параметр, характеризующий «ослабление» требований, накладываемых на уровень соответствия расчетных и экспериментальных значений. Если  $\delta = 0$ , то в каждом эксперименте расчетные значения концентраций не должны отличаться от фактических более чем на предельно допустимую погрешность измерений  $\xi^*$ . Положительные значения параметра  $\delta$  напрямую зависят от того, насколько велико «недоверие» исследователя к измеренным в ходе экспериментов величинам.

Так как оптимальное значение  $k^*$  является единственным, в целях выявления интервала неопределенностей проводились численные расчеты по модели (10), в которых параметру  $\delta$  назначались положительные значения в диапазоне от 0 до 1. При  $\delta = 0.15$ , что соответствует допущению о не более чем 15-процентной погрешности измерения каждого экспериментального значения концентрации, были определены  $k^{\min}$  и  $k^{\max}$ . Это позволило записать интервал неопределенности следующим образом: (0.03097, 0.03146). Доверительный интервал для параметра  $k$  в уравнении регрессии (9), построенном без учета погрешности в экспериментальных данных, – (0.03092, 0.03129), интервал однородных значений  $k$  – (0.02997, 0.03224).

Если в условиях решаемой задачи исследователь будет знать, что предельная абсолютная погрешность измерения концентрации составляет 0.0212, то ни интервал однородных значений, ни доверительный интервал целиком не могут быть использованы в качестве искомого, в силу того, что не все значения константы скорости из этих интервалов обеспечивают заданную точность описания. В этой связи преимущество использования интервала неопределенности, каждая точка которого обеспечивает заданную абсолютную погрешность описания для всех экспериментальных значений концентрации, равную  $\xi^*(1 + \delta)$ , становится очевидным.

Т а б л и ц а 3

Анализ точности описания экспериментальных данных

Показатель точности описания	Интервал однородных значений $k$		Доверительный интервал для $k$		Интервал неопределенности для $k$	
	левая граница	правая граница	левая граница	правая граница	левая граница	правая граница
Средняя погрешность аппроксимации, %	4.33	3.59	2.49	2.43	2.43	2.47
Максимальная абсолютная погрешность описания концентраций	0.0335	0.0300	0.0217	0.0192	0.0212	0.0212

В силу того, что переменная  $\xi$  в модели (8) характеризует абсолютную точность описания концентрации в каждом эксперименте, целевая функция задачи (8) по сути является критерием качества кинетической модели (1), а ее оптимальное значение  $\xi^*$  – показателем качества модели (8).

В модели (10) максимальная абсолютная погрешность измерения экспериментальных концентраций задается выражением  $\Delta^{abc} = \xi^*(1 + \delta)$ . Оценка для максимальной относительной погрешности измерения концентраций рассчитывается на основании выражения  $\Delta^{отн} = \frac{\xi^*}{\min_{m=1,19} a_n^{экс}}$ . Если величины

$\Delta^{abc}$  и  $\Delta^{отн}$  согласуются с представлениями исследователя об их допустимых уровнях, то все значения константы скорости  $k$  из полученного по результатам решения задачи (10) интервала неопределенности могут рассматриваться как обеспечивающие справедливость кинетической модели (1) в пределах допустимой погрешности. В контексте сказанного  $\xi^*$  также можно считать показателем качества модели (10).

Таким образом, применение для идентификации кинетических моделей (1) подхода, основанного на вычислении предельно допустимой погрешности измерений с последующим расчетом интервалов неопределенностей для констант скоростей, обеспечивает построение математических моделей, критерии качества в которых имеют очевидный смысл. Полученные при этом оптимальные решения позволяют рассчитать интервалы приемлемых значений для констант скоростей и получить оценки точности измерений экспериментальных значений концентраций. Аналогичный подход успешно реализуется авторами для решения задач химической кинетики большей размерности, а также задач из других областей знаний [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вант-Гофф Я.Г. Очерки по химической динамике. Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1936. 178 с.
2. Спивак С.И., Исмаилова А.С., Кантор О.Г. Области неопределенности в математической теории анализа измерений // Системы управления и информационные технологии. 2014. Т. 58, № 4. С. 17–21.
3. Спивак С.И., Кантор О.Г. Области неопределенности в моделях системной динамики // Системы управления и информационные технологии. 2015. Т. 60, № 2. С. 23–27.
4. Канторович Л.В. О некоторых новых подходах к вычислительным методам и обработке наблюдений // Сибирский математический журнал. 1962. Т. 3, № 5. С. 701–709.
5. Хайпер Э., Нерсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи. М.: Мир, 1990. 512 с.
6. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 1998. 1022 с.

## References

1. Hoff J.H., van't. Studies in chemical dynamics. Russian edition. Leningrad, ONTI-Khimteoret, 1936. 178 p.
2. Spivak S.I., Ismagilova A.S., Kantor O.G. Uncertainty domains in the mathematical theory of measurement analysis. Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii, 2014, vol. 58, no. 4, pp. 17–21.
3. Spivak S.I., Kantor O.G. Uncertainty domains in system dynamics models. Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii, 2015, vol. 60, no. 2, pp. 23–27.
4. Kantorovich L.V. On some new approaches to calculation methods and observation processing. Sibirskiy matematicheskiy zhurnal, 1962, vol. 3, no. 5, pp. 701–709.
5. Hairer E., Nørsett S., Wanner G. Solving ordinary differential equations. Nonstiff problems. Russian edition. Moscow, Mir, 1990. 512 p.
6. Ayvazyan S.A., Mkhitaryan V.S. Applied statistics and fundamentals of econometrics. Moscow, YuNITI, 1998. 1022 p.



## QUALITY ESTIMATION OF THE CHEMICAL KINETIC MODELS

© O.G. Kantor, S.I. Spivak

<sup>1</sup>Institute for Social and Economic Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup>Bashkir State University,  
32, ulitsa Zaki Validi, 450076, Ufa, Russian Federation

In the context of chemical kinetics, all chemical reactions are considered to be dynamic processes that occur according to a certain law. The exact form of kinetic equations is determined through mathematical processing of experimental data with an assessment of a number of indicators characterizing the quality of the constructed dependencies. However, the category "quality" can be treated in two ways. In the conventional sense, this is the principal ability of the model to describe the object under investigation ("yes" as described, "no" as undescribed). In the broadened sense, the "quality" of the model is characterized by some numerical value that can vary within a certain interval. In the first approach, the entire set of models is divided into two disjoint subsets. Those models that fall into the "qualitative" subset do not differentiate among themselves. This can be a source of uncertainty if it becomes necessary to choose the best among them. From this point of view, an expanded understanding of the quality of the model makes it possible not only to determine the best and perform pairwise comparison of models, but also to establish a hierarchy of quality levels by splitting the interval of values of the quality characteristic into disjoint subintervals.

From the standpoint of this expanded understanding of the quality of models, the paper gives the results of solving the problem on the identification of the equation of chemical kinetics investigated by van't Hoff, in which the rate constant of a chemical reaction is to be determined. The method developed for solving the problems of parametric identification is based on the idea of a uniform approximation and Kantorovich's approach to the identification of the location domains of the sought and observed quantities. The application of the developed method makes it possible to calculate uncertainty intervals that represent the sets of values for the rate constants of the reactions under study and guarantees the achievement of specified accuracy in the description of experimental data.

The paper also presents the results of comparative analysis of the calculated uncertainty interval for the rate constant of the reaction under study and the intervals of its values obtained by statistical methods and shows the advantages of using this method to ensure the qualitative characteristics of the models of chemical kinetics.

Key words: rate constants, identification of kinetic equations, uncertainty intervals.

УДК 544.134:544.3.03:544.18:544.15

## ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ НАИБОЛЕЕ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОМЕРОВ ФУЛЛЕРЕНОВ

© Е.Ю. Панкратьев, Р.В. Хатымов

С целью выявления структурных, термодинамических и спектральных закономерностей, из большого многообразия гипотетически возможных замкнутых углеродных кластеров с помощью квантово-химического приближения РВЕ/2 $\zeta$  выделены энергетически наиболее стабильные фуллерены  $C_n$  с числом атомов углерода  $n$  от 20 до 720 ( $n$  – четное число). Полученная тестовая выборка молекул включила в себя фуллерены как не подчиняющиеся правилу изолированных пентагонов ( $C_{20}$ - $I_h$  ( $D_{3d}$ ),  $C_{24}$ - $D_{6d}$  ( $D_2$ ),  ${}^5C_{26}$ - $D_{3h}$  ( $C_{2v}$ ),  ${}^5C_{28}$ - $T_d$  ( $C_1$ ),  $C_{30}$ - $C_{2v}$ -3,  $C_{32}$ - $D_3$ -6,  $C_{34}$ - $C_2$ -5,  $C_{36}$ - $D_{6h}$ -15,  $C_{38}$ - $C_2$ -17,  $C_{40}$ - $D_2$ -38,  $C_{42}$ - $D_3$ -45,  $C_{44}$ - $D_2$ -75,  $C_{46}$ - $C_2$ -109,  $C_{48}$ - $C_2$ -171,  $C_{50}$ - $D_3$ -270,  $C_{52}$ - $C_2$ -422), так и подчиняющиеся этому правилу ( $C_{60}$ - $I_h$ ,  $C_{70}$ - $D_{5h}$ ,  $C_{72}$ - $D_{6d}$ ,  ${}^3C_{74}$ - $D_{3h}$ ,  $C_{76}$ - $D_2$ ,  $C_{78}$ - $C_{2v}$ -3,  $C_{80}$ - $D_{5d}$ -1,  $C_{82}$ - $C_2$ -3,  $C_{84}$ - $D_2$ -22,  $C_{86}$ - $C_2$ -17,  $C_{90}$ - $C_2$ -45,  $C_{92}$ - $D_3$ -28,  $C_{94}$ - $C_2$ -43,  $C_{96}$ - $C_2$ -181,  $C_{98}$ - $C_3$ -148,  $C_{100}$ - $C_1$ -173,  $C_{120}$ - $T_d$ ,  $C_{180}$ - $I_h$ ,  $C_{240}$ - $I_h$ ,  ${}^3C_{260}$ - $C_3$ ,  ${}^3C_{320}$ - $D_{3d}$ ,  ${}^3C_{500}$ - $D_{3d}$ ,  $C_{540}$ - $I_h$ ,  $C_{720}$ - $I_h$ ) (все обозначения приведены в соответствии с Атласом фуллеренов и с указанием мультиплетности основного состояния, если она отличается от синглетной). Актуальность отобранного таким образом ряда соединений для дальнейших теоретических исследований подтверждается тем фактом, что в него вошло целое семейство фуллеренов, к настоящему времени уже полученных и идентифицированных экспериментальными методами. Дополнительно в выборку была включена также и экспериментально подтвержденная структура  $C_{62}$ - $C_{2v}$ , удовлетворяющая правилу изолированных пента- и тетрагонов.

Для выбранных наиболее энергетически выгодных или приближающихся к ним изомеров фуллеренов  $C_{20}$ – $C_{720}$  проведено детальное исследование с более полным и гибким трехкратно-валентно расщепленным базисным набором в приближении РВЕ/3 $\zeta$ . Рассчитаны значения некоторых термодинамических функций при стандартных условиях (энергия Гиббса, энтальпия, энтропия).

Для молекул, у которых основным является синглетное состояние, построена феноменологическая модель зависимости стандартной энтальпии образования от количества атомов углерода, которая достаточно точно описывается функцией  $\Delta_f H^0_{298}(C_n) = (-8.826 + 43.888 \cdot e^{-9.046 \cdot \alpha} + 6.836 \cdot e^{-9.331 \cdot \alpha} + 19.165 \cdot e^{-2.236 \cdot \beta}) \cdot n$ . Параметры модели  $\alpha = n/180$  и  $\beta = n/1500$  могут быть интерпретированы как степень стерического напряжения в фуллереновом каркасе.

Анализ констант феноменологической модели позволяет заключить, что среди всех гипотетически возможных энергетически стабильных структур особое положение занимают фуллерены  $C_{60}$ ,  $C_{70}$ ,  $C_{180}$  и  $C_{1500}$ . Так, в диапазоне  $C_{60}$ – $C_{70}$  существенно понижается действие стерического фактора  $\alpha$ , полное нивелирование которого происходит, начиная с  $n = 180$ . Значимость второго фактора  $\beta$  продолжается приблизительно до  $n = 1500$ . При дальнейшем увеличении количества атомов  $n$  следует ожидать подчинение энергетических характеристик фуллеренов простой аддитивной модели.

Для всей тестовой выборки энергетически выгодных изомеров фуллеренов рассчитана величина энергии синглет-триплетного расщепления. Показано, что для структур  $C_{260}$ - $C_3$ ,  $C_{320}$ - $D_{3d}$  и  $C_{500}$ - $D_{3d}$  основным является триплетное электронное состояние, что, вероятно, свидетельствует об их низкой кинетической стабильности.

Ключевые слова: фуллерены, тестовая выборка, изомеры, термодинамические характеристики, феноменологическая модель, квантово-химические расчеты.

ПАНКРАТЬЕВ Евгений Юрьевич – к.х.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: evgeniy@pankratyev.com

ХАТЫМОВ Рустем Владиславович – к.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: rustem@anrb.ru

**Введение.** Фуллерены уже более тридцати лет остаются предметом особого фундаментального и практического интереса современной науки [1–3]. В частности, эти замкнутые атомные кластеры, состоящие исключительно из атомов углерода, проявляют антифрикционные и сверхпроводящие свойства, способны присоединять снаружи или хранить внутри себя один или несколько атомов или многоатомных образований, что представляется перспективным способом адресной доставки лекарственных средств в организме или для утилизации токсичных отходов; исключительные электроно-акцепторные свойства производных фуллеренов используются в электрических аккумуляторах и в бурно развивающейся органической электронике. В то же время трудности при синтезе и выделении высших фуллеренов, их малая доступность для экспериментального изучения индивидуальных изомеров не позволяют в полной мере выявить их многогранные свойства и оценить перспективы практического использования. Так, из всего многообразия гипотетически возможных фуллереновых структур к настоящему времени экспериментально идентифицированы лишь  $C_{20}$ ,  $C_{60}$ ,  $C_{62}$ ,  $C_{70}$ ,  $C_{72}$ ,  $C_{74}$ ,  $C_{76}$ ,  $C_{78}$ ,  $C_{80}$ ,  $C_{82}$ ,  $C_{84}$ ,  $C_{86}$ ,  $C_{90}$  и  $C_{92}$ . В этих условиях фундаментальные и экспериментальные причины, препятствующие синтезу, изоляции или идентификации остальных представителей гомологического или изомерного ряда фуллеренов, изучаются преимущественно теоретическими методами.

Как правило, возможность существования и получения высших фуллеренов оценивается по таким критериям, как термодинамическая и кинетическая стабильность молекул [1, 4–6]. Так, в работах В.И. Коваленко и А.Р. Хаматгалимова [5, 6] было замечено, что наиболее энергетически стабильные изомеры фуллеренов, в число которых входят и экспериментально идентифицированные изомеры, на графике зависимости  $E_{total}/n$  (полной энергии  $E_{total}$  в пересчете на количество атомов углерода  $n$  в молекуле) от  $n$  образуют так называемый «луч стабильности». Верхняя граница луча определяется максимальными

энергиями  $-E_{total}/n$ : на ней располагаются наиболее стабильные фуллерены, и она определяет границу максимальных значений полных энергий для всех известных стабильных фуллеренов. Все остальные экспериментально обнаруженные изомеры фуллеренов находятся над нижней границей луча. При этом замечено, что с увеличением размера молекул  $n$  для стабильных фуллеренов наблюдается устойчивая тенденция к уменьшению приращения энергии  $E_{total}/n$ . Экстраполяция позволяет ожидать выхода энергии  $E_{total}/n$  на определенный постоянный уровень (плато), однако исследованиями [5, 6] был охвачен только ограниченный ряд фуллеренов, размеры которых составляли диапазон от  $C_{60}$  до  $C_{86}$ . В связи с этим более уверенное прогнозирование поведения энергетических характеристик фуллеренов с размерами вне этих пределов до сих пор представляет актуальную задачу. В настоящей работе получены новые теоретические квантово-химические данные для широкого ряда фуллеренов  $C_{20}$ – $C_{720}$ , на основе которых проведен корреляционный анализ ряда энергетических и термодинамических функций, позволяющий детализировать упомянутый «луч стабильности», а также ввести в рассмотрение критерии стабильности фуллеренов в дополнительных термодинамических координатах.

**Расчетная часть.** Оптимизацию геометрических параметров исследуемых молекулярных систем, решение колебательной задачи и расчет термических поправок к полной энергии соединений для получения термодинамических функций выполняли в квантово-химическом пакете ПРИРОДА 16 в приближении РВЕ/3 $\zeta$  (для предварительного анализа и отбора объектов исследования также использовали приближение РВЕ/2 $\zeta$ ). Хорошее воспроизведение этим методом электронной плотности фуллеренов показано ранее на примере расчета спектральных характеристик  $C_{60}$  и  $C_{70}$  [7]. Расчет больших молекулярных систем сопряжен с определенными вычислительными и техническими проблемами и проведен в соответствии с ранее разработанной методикой [8]. Термодинамические функции

стационарных состояний рассчитывали для температуры 298 К. При расчете энтропии и энергии Гиббса соединений производили коррекцию вращательной составляющей в сумме состояний в соответствии с точечной группой симметрии молекулы.

Корреляционный анализ, статистическую обработку данных и построение графиков выполняли в программах Microsoft Excel 2010 и OriginLab Origin 9.0.

**Результаты и их обсуждение.** Часть выборки исследуемых изомеров фуллеренов была заимствована из Библиотеки фуллеренов, созданной М. Йошидой [<http://www.nanotube.msu.edu/fullerene/>]. Эти структуры получены топологическим спиральным алгоритмом П.В. Фаулером и Д.Е. Манолопулосом. Для тех фуллеренов  $C_n$ , размер которых позволяет применить правило изолированных пентагонов ( $n \geq 60$ ), произведен отсев структур, не подчиняющихся этому правилу [9]. Так, в нашу выборку были включены  $C_{20}$ ,  $C_{24}$ ,  $C_{26}$ ,  $C_{60}$ ,  $C_{70}$ ,  $C_{72}$ ,  $C_{74}$ ,  $C_{82}$ ,  $C_{120}$ ,  $C_{180}$ ,  $C_{240}$ ,  $C_{260}$ ,  $C_{320}$ ,  $C_{500}$ ,  $C_{540}$  и  $C_{720}$  – по 1 изомеру,  $C_{28}$  и  $C_{76}$  – 2,  $C_{30}$  – 3,  $C_{78}$  – 5,  $C_{32}$ ,  $C_{34}$  и  $C_{80}$  – 6,  $C_{36}$  – 15,  $C_{38}$  – 17,  $C_{86}$  – 19,  $C_{84}$  – 24,  $C_{40}$  – 40,  $C_{42}$  – 45,  $C_{90}$  – 46,  $C_{92}$  – 86,  $C_{44}$  – 89,  $C_{46}$  – 116,  $C_{94}$  – 134,  $C_{96}$  – 187,  $C_{48}$  – 199,  $C_{98}$  – 259,  $C_{50}$  – 271,  $C_{52}$  – 437,  $C_{100}$  – 450 изомеров, подчиняющихся правилу изолированных пентагонов. Также в выборку был добавлен экспериментально обнаруженный фуллерен  $C_{62}$ , содержащий один изолированный тетрагональный углеродный цикл. Всего изучена 2481 структура.

Структура каждой из молекул предварительно была подвергнута геометрической оптимизации в приближении РВЕ/2 $\zeta$ , по результатам которой были отобраны энергетически наиболее выгодные изомеры, которые представлены в табл. 1 (обозначение изомеров соответствует Атласу фуллеренов [9]). Далее для каждого энергетически наиболее выгодного изомера произведена переоптимизация геометрических характеристик в приближении РВЕ/3 $\zeta$  с последующим решением колебательной задачи для подтверждения достижения минимума на

поверхности потенциальной энергии и вычисления термодинамических функций. Подтверждением адекватности проведенных расчетов служит тот факт, что среди найденных таким образом структур оказались энергетически наиболее выгодные представители экспериментально обнаруженных изомеров высших фуллеренов:  $C_{76}$ -D<sub>2</sub>,  $C_{78}$ -C<sub>2v</sub>-3,  $C_{80}$ -D<sub>5d</sub>-1,  $C_{82}$ -C<sub>2</sub>-3 и  $C_{84}$ -D<sub>2</sub>-22. Также в табл. 1 приведены экспериментально обнаруженные  $C_{20}$ -I<sub>h</sub>,  $C_{60}$ -I<sub>h</sub>,  $C_{62}$ -C<sub>2v</sub>,  $C_{70}$ -D<sub>5h</sub> и  $C_{74}$ -D<sub>3h</sub>, представленные в исходной выборке единичными изомерами. При этом известно, что последний из этого списка фуллеренов ( $C_{74}$ -D<sub>3h</sub>) существует лишь в виде эндоэдрального металло- или экзоэдрального фуллерена.

Для соотнесения рассчитанных индивидуальных характеристик фуллеренов, отличающихся числом составляющих их атомов, разумным представляется использование энергетических величин в пересчете на один атом углерода, а также их нормировка к параметрам одного из объектов, входящих в выборку. В табл. 1 и рис. 1 для отобранного ряда структур показаны отсчитанные относительно  $C_{20}$  величины полной энергии, приходящейся на атом углерода (см. (1)).

С ростом размеров молекул фуллеренов вклад усредненного атома углерода в полную энергию всей молекулы растет, что видно по ниспадающему характеру зависимости  $\Delta(E/n)$  на рис. 1, однако рост постепенно замедляется, устремляясь в пределе к постоянному уровню. Эта закономерность хорошо согласуется с выводами работ [5, 6], упомянутыми выше.

$$\Delta\left(\frac{E}{n}\right) = \frac{E(C_n)}{n} - \frac{E(C_{20})}{20} \quad (1)$$

В табл. 1 также представлены относительные значения полной энтальпии и полной свободной энергии (абсолютные энтальпия и свободная энергия за вычетом энергии ядер соответственно), уравнения (2) и (3).

$$\Delta\left(\frac{H_{298}^0}{n}\right) = \frac{H_{298}^0(C_n)}{n} - \frac{H_{298}^0(C_{20})}{20} \quad (2)$$

$$\Delta\left(\frac{G_{298}^0}{n}\right) = \frac{G_{298}^0(C_n)}{n} - \frac{G_{298}^0(C_{20})}{20} \quad (3)$$

Таблица 1

Энергетические и термодинамические характеристики фуллеренов

№	Фуллерен	$\Delta(E/n)$ , ккал/моль	$\Delta(H^{0}_{298}/n)$ , ккал/моль	$\Delta(G^{0}_{298}/n)$ , ккал/моль	$\Delta_f E$ , ккал/моль	$\Delta_f H^{0}_{298}$ , ккал/моль	$\Delta E_{ст.}$ , ккал/моль
1	C <sub>20</sub> -I <sub>h</sub> (D <sub>3d</sub> ) <sup>a</sup>	0	0	0	548.16	542.19	2.57
2	C <sub>24</sub> -D <sub>6d</sub> (D <sub>2</sub> ) <sup>a</sup>	-2.25	-2.26	-2.14	603.79	596.28	1.24
3	C <sub>26</sub> -D <sub>3h</sub> (C <sub>2v</sub> ) <sup>a</sup>	-3.79	-3.78	-3.59	614.05	606.49	-2.13 <sup>b</sup>
4	C <sub>28</sub> -T <sub>d</sub> (C <sub>1</sub> ) <sup>a</sup>	-5.70	-5.66	-5.46	607.93	600.51	-3.56 <sup>b</sup>
5	C <sub>30</sub> -C <sub>2v</sub> -3	-7.38	-7.27	-6.97	600.72	595.04	0.98
6	C <sub>32</sub> -D <sub>3</sub> -6	-9.31	-9.13	-8.75	579.06	575.22	25.13
7	C <sub>34</sub> -C <sub>2</sub> -5	-9.61	-9.44	-9.06	605.21	600.73	3.21
8	C <sub>36</sub> -D <sub>6h</sub> -15	-10.48	-10.30	-9.86	609.48	605.17	4.61
9	C <sub>38</sub> -C <sub>2</sub> -17	-11.15	-10.96	-10.52	617.70	613.67	12.17
10	C <sub>40</sub> -D <sub>2</sub> -38	-11.78	-11.58	-11.11	625.07	621.21	12.23
11	C <sub>42</sub> -D <sub>3</sub> -45	-12.49	-12.28	-11.78	626.59	623.01	15.18
12	C <sub>44</sub> -D <sub>2</sub> -75	-13.18	-12.95	-12.44	626.03	622.88	10.97
13	C <sub>46</sub> -C <sub>2</sub> -109	-13.39	-13.16	-12.64	644.76	641.45	6.63
14	C <sub>48</sub> -C <sub>2</sub> -171	-14.05	-13.81	-13.27	641.17	638.55	10.82
15	C <sub>50</sub> -D <sub>3</sub> -270	-15.03	-14.76	-14.19	619.13	617.40	27.57
16	C <sub>52</sub> -C <sub>2</sub> -422	-15.13	-14.87	-14.30	638.47	636.46	4.18
17	C <sub>60</sub> -I <sub>h</sub>	-17.33	-17.03	-16.38	<b>604.68<sup>c</sup></b>	<b>604.68<sup>c</sup></b>	31.54
18	C <sub>62</sub> -C <sub>2v</sub>	-16.52	-16.24	-15.62	675.27	674.07	12.04
19	C <sub>70</sub> -D <sub>5h</sub>	-18.18	-17.87	-17.21	<b>645.76</b>	<b>646.54</b>	35.15
20	C <sub>72</sub> -D <sub>6d</sub>	-17.75	-17.46	-16.78	695.12	695.09	30.34
21	C <sub>74</sub> -D <sub>3h</sub>	-18.20	-17.90	-17.23	681.70	681.54	-2.50 <sup>b</sup>
22	C <sub>76</sub> -D <sub>2</sub>	-18.31	-18.00	-17.33	691.34	692.01	20.65
23	C <sub>78</sub> -C <sub>2v</sub> -3	-18.48	-18.18	-17.50	695.99	696.60	13.34
24	C <sub>80</sub> -D <sub>5d</sub> -1	-18.47	-18.16	-17.47	715.39	715.91	4.17
25	C <sub>82</sub> -C <sub>2</sub> -3	-18.66	-18.36	-17.67	717.06	717.84	13.24
26	C <sub>84</sub> -D <sub>2</sub> -22	-18.88	-18.57	-17.88	716.10	717.02	19.14
27	C <sub>86</sub> -C <sub>2</sub> -17	-18.86	-18.55	-17.86	735.11	735.95	10.96
28	C <sub>90</sub> -C <sub>2</sub> -45	-19.10	-18.79	-18.09	747.71	748.71	14.30
29	C <sub>92</sub> -D <sub>3</sub> -28	-19.23	-18.92	-18.20	752.33	753.83	27.42
30	C <sub>94</sub> -C <sub>2</sub> -43	-19.34	-19.03	-18.32	758.47	759.85	22.66
31	C <sub>96</sub> -C <sub>2</sub> -181	-19.40	-19.09	-18.38	768.89	770.12	17.03
32	C <sub>98</sub> -C <sub>3</sub> -148	-19.41	-19.10	-18.39	783.34	784.73	13.53
33	C <sub>100</sub> -C <sub>1</sub> -173	-19.48	-19.18	-18.46	792.29	793.41	7.27
34	C <sub>120</sub> -T <sub>d</sub>	-20.21	-19.88	-19.13	863.81	867.40	31.19
35	C <sub>180</sub> -I <sub>h</sub>	-21.75	-21.40	-20.60	1 018.20	1 028.33	31.82
36	C <sub>240</sub> -I <sub>h</sub>	-22.58	-	-	1 159.52	-	26.66
37	C <sub>260</sub> -C <sub>3</sub>	-22.46	-	-	1 286.96	-	-0.11 <sup>b</sup>
38	C <sub>320</sub> -D <sub>3d</sub>	-22.92	-	-	1 435.93	-	-0.35 <sup>b</sup>
39	C <sub>500</sub> -D <sub>3d</sub>	-23.71	-	-	1 847.69	-	-0.10 <sup>b</sup>
40	C <sub>540</sub> -I <sub>h</sub>	-23.93	-	-	1 880.47	-	19.87
41	C <sub>720</sub> -I <sub>h</sub>	-24.27	-	-	2 258.74	-	-

Примечание: **a** – в ходе оптимизации структуры фуллеренов C<sub>20</sub>-I<sub>h</sub>, C<sub>24</sub>-D<sub>6d</sub>, C<sub>26</sub>-D<sub>3h</sub>, C<sub>28</sub>-T<sub>d</sub> их симметрия была снижена до D<sub>3d</sub>, D<sub>2</sub>, C<sub>2v</sub>, C<sub>1</sub> соответственно, однако при использовании низких критериев соответствия симметрия соответствует исходной; **b** – основным состоянием фуллеренов является не синглетное, однако для C<sub>260</sub>, C<sub>320</sub> и C<sub>500</sub> величина синглет-триплетного расщепления крайне низка; **c** – для C<sub>60</sub> использовано значение, соответствующее рекомендованному экспериментальному  $\Delta_f H^{0}_{298}$  (см. текст).

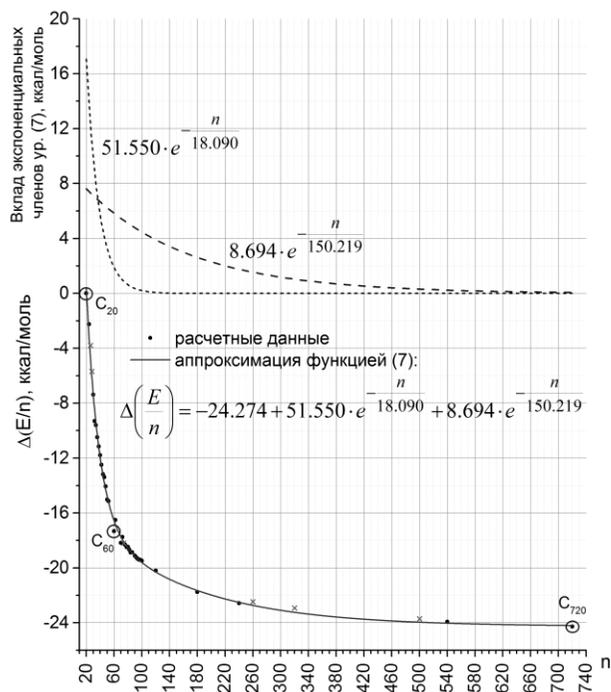


Рис. 1. Зависимость относительной полной энергии фуллеренов, приходящейся на один атом углерода (1) и (7), от количества атомов, и декомпозиция функции (7) на экспоненциальные вклады

Кроме того, для перехода к энергетическим масштабам, принятым в экспериментальной термохимии, были рассчитаны полные энергии образования  $\Delta_f E(C_n)$  (уравнение (4)) и стандартные энтальпии образования фуллеренов  $\Delta_f H_{298}^0(C_n)$  (уравнение (5), табл. 1). Их расчет был основан на законе Гесса.

$$\Delta_f E(C_n) = \frac{n}{60} \cdot \Delta_f H_{298}^0(C_{60}) + E(C_n) - \frac{n}{60} \cdot E(C_{60}) \quad (4)$$

$$\Delta_f H_{298}^0(C_n) = \frac{n}{60} \cdot \Delta_f H_{298}^0(C_{60}) + H_{298}^0(C_n) - \frac{n}{60} \cdot H_{298}^0(C_{60}) \quad (5)$$

В качестве экспериментальной стандартной энтальпии образования  $\Delta_f H_{298}^0(C_{60})$  фуллерена  $C_{60}$ , фигурирующей в выражениях (4) и (5), взята усредненная по нескольким известным литературным источникам величина  $604.68 \pm 3.11$  ккал/моль [10]. Для сравнения, расчетное значение стандартной теплоты образования  $C_{70}$ , получаемое по уравнению (5), составляет 646.54 ккал/моль. Оно согласуется

с экспериментальной величиной  $\Delta_f H_{298}^0(C_{70}) = 658.46 \pm 5.50$  ккал/моль [10], однако отклонение расчетного значения от рекомендованного экспериментального составляет достаточно большую величину 11.92 ккал/моль, превышающую заявленную экспериментальную погрешность  $\pm 5.50$  ккал/моль. Здесь следует подчеркнуть, что экспериментальные значения теплот образования для этих двух фуллеренов, судя по противоречивым данным из разных литературных источников, не достаточно надежны и требуют уточнения. Действительно, диапазон экспериментальных значений  $\Delta_f H_{298}^0(C_{60})$  составляет 598.8÷634.8 ккал/моль, а для  $\Delta_f H_{298}^0(C_{70})$  – 632.1÷675.5 ккал/моль [10]. В этой связи полученные по единой процедуре теоретические оценки стандартной газовой энтальпии образования для беспрецедентно широкого круга фуллеренов, приведенные в табл. 1, при отсутствии в литературе экспериментальных данных могут стать достаточно надежным ориентиром. Важные термодинамические закономерности кроются не столько в абсолютных величинах, сколько в относительных.

На рис. 2 приведена зависимость от числа  $n$  стандартной энтальпии образования фуллеренов, отнесенной к  $n$ . Вид этой зависимости свидетельствует о том, что с ростом размера фуллерена вклад атомов углерода в энтальпию образования молекулы понижается, что не позволяет использовать для расчета термодинамических функций фуллеренов простые аддитивные схемы. В то же время аппроксимация этой зависимости в диапазоне  $C_{20}$ – $C_{180}$  трехэкспоненциальной функцией (уравнение (6); см. также статистический анализ в табл. 2) и экстраполяция последней предоставляет возможность оценить стандартную энтальпию образования любого стабильного фуллерена  $C_n$  примерно до  $n = 230$ :

$$\begin{aligned} \Delta_f H_{298}^0(C_n) = & -8.826 \cdot n + \\ & + 43.888 \cdot e^{-\frac{n}{19.017}} \cdot n + \\ & + 6.837 \cdot e^{-\frac{n}{19.291}} \cdot n + \\ & + 19.165 \cdot e^{-\frac{n}{670.712}} \cdot n. \end{aligned} \quad (6)$$

Распределение фуллеренов по группам в зависимости от величины синглет-триплетного расщепления

Группа	$\Delta E_{ST}$ , ккал/моль	Фуллерены
I	-5 – 0	C <sub>26</sub> , C <sub>28</sub> , C <sub>74</sub>
II	≈ 0	C <sub>260</sub> , C <sub>320</sub> , C <sub>500</sub>
III	0 – 5	C <sub>20</sub> , C <sub>24</sub> , C <sub>30</sub> , C <sub>34</sub> , C <sub>36</sub> , C <sub>52</sub> , C <sub>80</sub>
IV	5 – 10	C <sub>46</sub> , C <sub>100</sub>
V	10 – 15	C <sub>38</sub> , C <sub>40</sub> , C <sub>44</sub> , C <sub>48</sub> , C <sub>62</sub> , C <sub>78</sub> , C <sub>82</sub> , C <sub>86</sub> , C <sub>90</sub> , C <sub>98</sub>
VI	15 – 20	C <sub>42</sub> , C <sub>84</sub> , C <sub>96</sub> , C <sub>540</sub>
VII	20 – 25	C <sub>76</sub> , C <sub>94</sub>
VIII	25 – 30	C <sub>32</sub> , C <sub>50</sub> , C <sub>92</sub> , C <sub>240</sub>
IX	30 – 35	C <sub>60</sub> , C <sub>72</sub> , C <sub>120</sub> , C <sub>180</sub>
X	35 – 40	C <sub>70</sub>

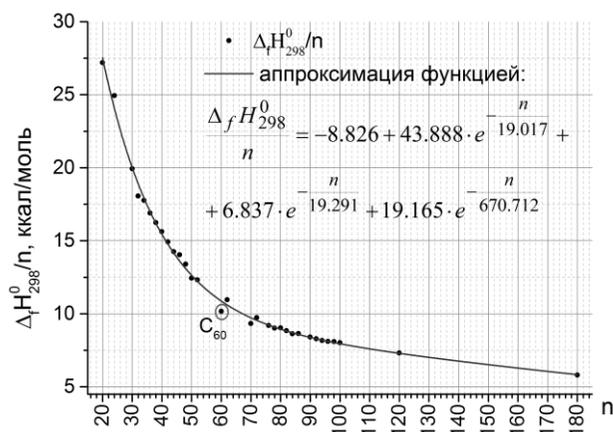


Рис. 2. Зависимость стандартной энтальпии образования фуллеренов (уравнения (5), (6)), приходящейся на один атом углерода, от количества атомов

В качестве стандартной энтальпии образования фуллеренов более высокого порядка мы предлагаем использовать расчетную величину полной энергии образования  $\Delta_f E(C_n)$  (табл. 1). Основанием для этого может послужить тот факт, что величина  $\Delta_f E(C_n)$  так же, как и стандартная теплота образования  $\Delta_f H_{298}^0(C_n)$ , «привязана» к экспериментальной величине  $\Delta_f H_{298}^0(C_{60})$  (уравнения (4) и (5)), однако в ней не учтена энергия нулевых валентных колебаний ZPVE и термическая поправка  $pV$  (для стандартных условий в приближении идеального газа это постоянный вклад, равный  $RT$ ). Различия между этими величинами, судя по данным табл. 1, в диапазоне  $C_{20}$ – $C_{180}$  составляют: по минимальному отклонению 0 ккал/моль, по максимальному –  $0.31 \cdot n$ , по

среднему –  $0.07 \cdot n$ , а по среднеквадратичному отклонению –  $0.12 \cdot n$  ккал/моль, что свидетельствует о достаточно хорошей корреляции, пригодной для проведения большинства полуколичественных оценок. Более того, для диапазона высших фуллеренов  $70 < n < 180$  эти отклонения (в пересчете на один атом) вообще близки к нулю. Это обстоятельство позволяет использовать величину  $\Delta_f E(C_n)$  для достаточно надежного предсказания стандартной энтальпии образования  $\Delta_f H_{298}^0(C_n)$  фуллеренов № 36–41 (см. табл. 1), для которых применение уравнения (5) оказалось невозможным в связи с существенными вычислительными трудностями при расчете гессиана.

Согласно результатам наших квантово-химических расчетов, не для всех найденных энергетически наиболее выгодных изомеров основным электронным состоянием является синглетное. Так, для  $C_{26}$ -D<sub>3h</sub>,  $C_{28}$ -T<sub>d</sub> основным состоянием является квинтуплетное (для проверки рассчитывали мультиплетные состояния высших порядков), а для  $C_{74}$ -D<sub>3h</sub>,  $C_{260}$ -C<sub>3</sub>,  $C_{320}$ -D<sub>3d</sub>,  $C_{500}$ -D<sub>3d</sub> триплетное. Как известно, молекулярные системы с открытой оболочкой кинетически нестабильны, поэтому вероятность синтеза или обнаружения данных фуллеренов в недериватизированном или мономерном виде крайне низка. Мы провели расчеты величин синглет-триплетного расщепления  $\Delta E_{ST} = E_T - E_S$  (см. табл. 1). Как видно из табл. 1, для последних трех из упомянутых фуллеренов величина  $\Delta E_{ST}$  оказалась близкой к нулю, но отрицательной,

Статистический анализ отклонений расчетных термодинамических параметров фуллеренов  $C_n$  от соответствующих аппроксимационных зависимостей (6)–(9) \*

Выражение	$R^2$	Минимальное отклонение	Максимальное отклонение	Среднее отклонение	$\sigma$
(6)	0.9957	0.003	$0.930 \cdot n$	$0.205 \cdot n$	$0.317 \cdot n$
(7)	0.9966	0.001	0.935	0.194	0.306
(8)	0.9939	0.001	$0.158 \cdot n$	$0.031 \cdot n$	$0.048 \cdot n$
(9)	0.9603	0.000	$0.055 \cdot n$	$0.009 \cdot n$	$0.015 \cdot n$

Примечание: \* единицы измерения отклонений (6), (7) и (9) – ккал/моль, для (8) – кал·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>.

как и для  $C_{74}-D_{3h}$ , что оставляет некоторые шансы на их возможность существования в дериватизированном виде. Систематизация фуллеренов по группам в зависимости от величины синглет-триплетного расщепления приведена в табл. 2.

На рис. 3 показана зависимость энергии образования фуллеренов от количества атомов, полученная с помощью выражения (4) и пересчитанная на один атом углерода. Видно, что при построении графика в логарифмических координатах особенно отчетливо выделяются две области, описываемые линейными зависимостями. Первая область охватывает диапазон фуллереновых структур  $C_{20}-C_{52}$ , не подчиняющихся правилу изолированных пентагонов. Из них только фуллерен  $C_{20}$  был экспериментально получен и идентифицирован в виде нейтральной изолированной молекулы. Второй линейный участок простирается от  $C_{60}$  в область высших фуллеренов (вплоть до  $C_{720}$ , который на рис. 3 не показан), и именно в этом диапазоне лежит подавляющая часть экспериментально идентифицированных фуллеренов. Точка перехода между этими областями («излом») наблюдается в окрестностях фуллеренов  $C_{60}-C_{70}$ . Становится очевидным, что эти самые доступные для синтеза и потому распространенные фуллерены, исторически первые из обнаруженных, действительно занимают особое положение среди всего многообразия возможных фуллереновых структур.

Для выяснения природы обнаруженного излома вернемся к зависимости  $\Delta(E/n)$  от количества атомов углерода  $n$  (рис. 1) и про-

изведем детальный анализ параметров этой зависимости. Для этого целесообразно предварительно исключить из рассмотрения те фуллерены, основное состояние которых оказалось не синглетным (точки, отмеченные крестиками). Процедура аппроксимации, примененная к оставшимся точкам, позволила нам выявить биэкспоненциальный характер зависимости  $\Delta(E/n)$  (уравнение (7), график показан на рис. 1 сплошной линией):

$$\Delta\left(\frac{E}{n}\right) = -24.274 + 51.550 \cdot e^{\frac{n}{18.090}} + 8.694 \cdot e^{\frac{n}{150.219}}. \quad (7)$$

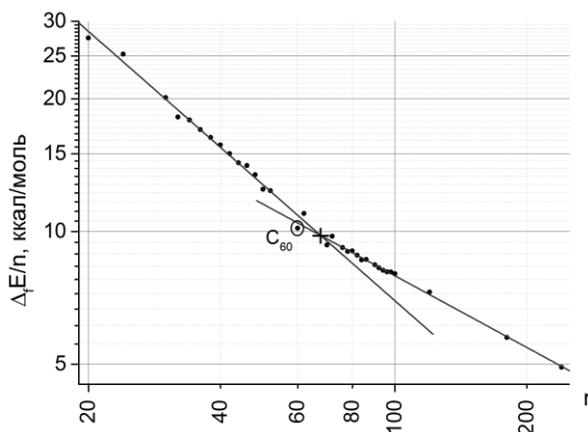


Рис. 3. Зависимость энергии образования фуллеренов (4), приходящейся на один атом углерода, от количества атомов в логарифмических координатах

Статистические характеристики эмпирической биэкспоненциальной зависимости (7) приведены в табл. 3. Смещение базового уровня экспоненциальных членов на величину  $-24.274$  ккал/моль представляет собой

теоретическую выгоду в полной энергии на один атом углерода, возникающую при увеличении размера фуллера от  $C_{20}$  приблизительно до  $C_{1500}$  (оценено с помощью экстраполяции). Второе и третье слагаемое характеризуют отклонение энергии от аддитивной схемы (см. декомпозицию уравнения (7) на составляющие экспоненциальные члены на рис. 1).

Второе слагаемое, произведение константы на экспоненту  $51.550 \cdot e^{-\frac{n}{18.090}}$ , наибольший вклад в выражении (7) вносит при  $n = 20$  (17.06 ккал/моль). С ростом количества атомов вклад этого слагаемого понижается, и при переходе к  $n = 24$  составляет уже только 80% (13.7 ккал/моль) от максимального значения,  $n = 32$ –52% (8.79),  $n = 62$ –10% (1.67), а для фуллера  $C_{120}$  всего 0.4% (0.07). Поскольку в теоретических расчетах важно не само отношение  $\Delta(E/n)$ , а непосредственно энергетическая характеристика, которую можно получить, умножив правую и левую часть выражения (7) на  $n$ , для оценки точности предсказания энергии необходимо также оценить выражение  $51.550 \cdot e^{-\frac{n}{18.090}} \cdot n$  (см. рис. 4). Последнее при переходе от  $C_{120}$  к  $C_{180}$  снижается с 8.14 ккал/моль до 0.44 ккал/моль. Таким образом, для  $C_{180}$  влияние второго экспоненциального члена выражения (7) составляет менее 1 ккал/моль.

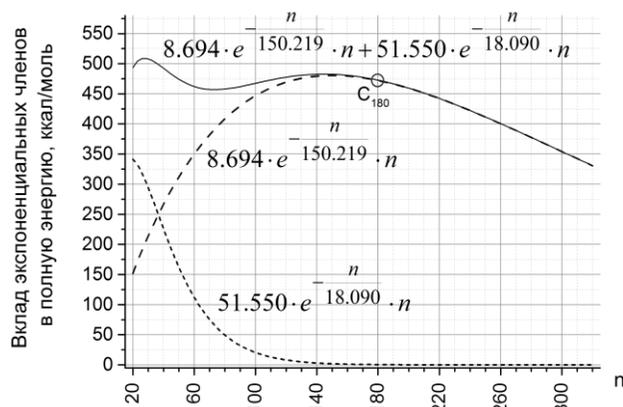


Рис. 4. Декомпозиция вкладов экспоненциальных членов (7) в полную энергию фуллеренов  $C_n$

Третье слагаемое выражения (7) так же представляет собой произведение констан-

ты на экспоненту  $8.694 \cdot e^{-\frac{n}{150.219}}$ . Это слагаемое оказывает существенное влияние на общую величину  $\Delta(E/n)$  в самом начале диапазона при  $n = 20$  (7.61 ккал/моль), и с ростом  $n$  его вклад плавно уменьшается (рис. 1, верхняя часть). При переходе к  $C_{36}$  вклад составляет 90% (6.84 ккал/моль) от максимального значения при  $C_{20}$ , к  $C_{120}$  – 51% (3.91),  $C_{320}$  – 14%,  $C_{720}$  – 1.0%. Произ-

ведение  $8.694 \cdot e^{-\frac{n}{150.219}} \cdot n$ , характеризующее суммарное влияние второй экспоненты выражения (7) на энергию фуллера, демонстрирует максимум в районе  $n \approx 180$  (472.17 ккал/моль), и далее, постепенно уменьшаясь, составляет величину менее 1 ккал/моль при достижении размера фуллера приблизительно  $C_{1500}$ .

Объединяя закономерности, выявленные по вышеизложенному статистическому анализу для аппроксимационных функций к уравнениям (6) и (7), можно предложить параметры  $\alpha = n/180$  и  $\beta = n/1500$ , характеризующие степень близости фуллеренов соответственно, к выделенным фуллеренам  $C_{180}$  и  $C_{1500}$ . Тогда выражение (7) можно представить в следующем преобразованном виде:

$$\Delta\left(\frac{E}{n}\right) = -24.274 + 51.550 \cdot e^{-9.950\alpha} + 8.694 \cdot e^{-9.985\beta}.$$

Можно полагать, что  $\alpha$  и  $\beta$  отражают степень стерического напряжения структуры фуллера. Если рассматривать фуллерены, имеющие высшую симметрию ( $I_h$ ), то до  $C_{180}$ , включая последний, они близки к сферичным. В то же время,  $C_{240}$ ,  $C_{540}$  и  $C_{720}$  становятся локально пирамидальными. Это согласуется с данными работы [3].

Также из расчетной зависимости энтропии энергетически наиболее выгодных изомеров фуллеренов  $C_{20}$ – $C_{180}$  от  $n$  нами получена аппроксимационная функция (8) (в кал·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>), которая в достаточно хорошем приближении (см. значение  $R^2$  в табл. 3) оказалась биэкспоненциальной:

$$S_{298}^0 = 1.266 \cdot n + 7.661 \cdot e^{-11.759\alpha} \cdot n + 1.182 \cdot e^{-8.855\beta} \cdot n. \quad (8)$$

Зависимость от  $n$  термической поправки к полной энергии для получения полной энтальпии соединений приведена отдельно на рис. 5. Видно, что по мере перехода выше  $n = 60$  термическая поправка к каждому добавочному атому углерода стремится к постоянной величине (см. выделенную область на рис. 5). В диапазоне  $C_{20}$ – $C_{180}$  она с достаточно высокой точностью (см. табл. 3) может быть аппроксимирована зависимостью (9):

$$H_{298}^0 - E = 4.106 \cdot n - 1.021 \cdot e^{-9.691x} \cdot n \quad (9)$$

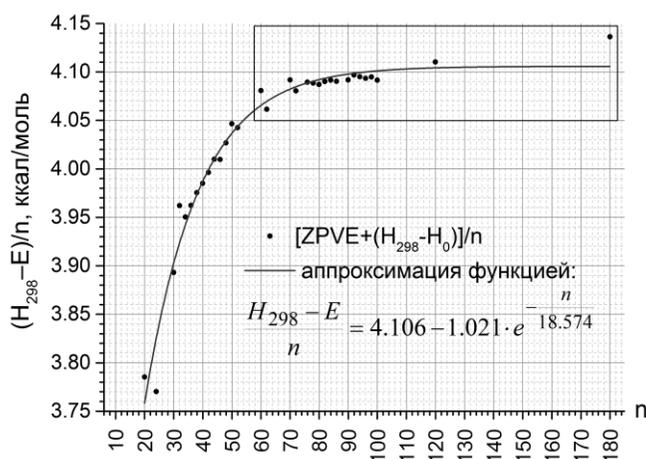


Рис. 5. Зависимость поправки к полной энергии фуллеренов (9) для получения энтальпии, отнесенная к одному атому углерода, от количества атомов

Полученные эмпирические аппроксимационные зависимости (6)–(9) могут быть использованы для проведения быстрых оценочных вычислений энергетических характеристик, термодинамических функций, термической поправки к полным энергиям, а также других производных термодинамических характеристик еще не изученных фуллеренов. В качестве ориентировочной величины погрешностей при этом могут послужить данные табл. 3.

*Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Республики Башкортостан в рамках научного проекта № 17-42-020643.*

## ЛИТЕРАТУРА

- Schmalz T.G., Seitz W.A., Klein D.J., Hite G. E. Elemental carbon cages // J. Am. Chem. Soc. 1988. V.110. № 4. P. 1113–1127.
- Buhl M., Hirsch A. Spherical Aromaticity of Fullerenes // Chem. Rev. 2001. V. 101. N.5. P. 1153–1184.
- Schwerdtfeger P., Wirz L. N., Avery J. The topology of fullerenes // WIREs Comput. Mol. Sci. 2015. V.5. N.1. P. 96–145.
- Kroto H.W. The stability of the fullerenes  $C_n$ , with  $n = 24, 28, 32, 36, 50, 60$  and  $70$  // Nature. 1987. V.329. N.6139. P. 529–531.
- Коваленко В.И., Хаматгалимов А.Р. Закономерности молекулярного строения стабильных фуллеренов // Успехи химии. 2006. Т. 75, № 11. С.1094–1102.
- Kovalenko V.I., Khamatgalimov A.R., Electronic Structure and Stability of Higher Fullerenes, in: T.N. Veziroglu, S.Y. Zaginaichenko, D.V. Schur, B. Baranowski, A.P. Shpak, V.V. Skorokhod, A. Kale (Eds.) Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials // Springer Netherlands. 2007. P. 437–441.
- Pankratyev E.Yu., Tulyabaev A.R., Khalilov L.M. How reliable are GIAO Calculations of  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR Chemical Shifts? A Statistical Analysis and Empirical Corrections at DFT (PBE/3z) Level // J. Comput. Chem. 2011. V. 32. N. 9. P. 1993–1997.
- Pankratyev E.Yu., Tuxhbatullina A.A., Sabirov D.S. Dipole polarizability, structure, and stability of [2+2]-linked fullerene nanostructures  $(C_{60})_n$  ( $n \leq 7$ ) // Physica E. 2017. V. 86. P. 237–242.
- Fowler P.W., Manolopoulos D.E. An Atlas of Fullerenes. Oxford: Clarendon Press. 1995. 392 p.
- Дикий В.В., Кабо Г.Я. Термодинамические свойства фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  // Успехи химии. 2000. Т. 69, № 2. С. 95–104.

## References

- Schmalz T.G., Seitz W.A., Klein D.J., Hite G.E. Elemental carbon cages. J. Am. Chem. Soc., 1988, vol. 110, no. 4, pp. 1113–1127.
- Buhl M., Hirsch A. Spherical aromaticity of fullerenes. Chem. Rev., 2001, vol. 101, no.5, pp. 1153–1184.
- Schwerdtfeger P., Wirz L.N., Avery J. The topology of fullerenes. WIREs Comput. Mol. Sci., 2015, vol. 5, no. 1, pp. 96–145.
- Kroto H.W. The stability of the fullerenes  $C_n$ , with  $n = 24, 28, 32, 36, 50, 60$  and  $70$ . Nature, 1987, vol. 329, no. 6139, pp. 529–531.

5. Kovalenko V.I., Khamatgalimov A.R. Regularities in the molecular structures of stable fullerenes. *Russ. Chem. Rev.* 2006. Vol. 75, no. 11, pp. 981–988.

6. Kovalenko V.I., Khamatgalimov A.R. Electronic structure and stability of higher fullerenes. In: T.N. Veziroglu, S.Y. Zaginaichenko, D.V. Schur, B. Baranowski, A.P. Shpak, V.V. Skorokhod, A. Kale (eds.). *Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials*, Springer Netherlands, Dordrecht, 2007, pp. 437–441.

7. Pankratyev E.Yu., Tulyabaev A.R., Khalilov L.M. How reliable are GIAO calculations of  $^1\text{H}$

and  $^{13}\text{C}$  NMR chemical shifts? A statistical analysis and empirical corrections at DFT (PBE/3z) level. *J. Comput. Chem.*, 2011, vol. 32, no. 9, pp. 1993–1997.

8. Pankratyev E.Yu., Tukhbatullina A.A., Sabirov D.S. Dipole polarizability, structure, and stability of [2+2]-linked fullerene nanostructures ( $\text{C}_{60}$ )<sub>n</sub> ( $n \leq 7$ ). *Physica E.*, 2017, vol. 86, pp. 237–242.

9. Fowler P.W., Manolopoulos D.E. *An atlas of fullerenes*. Oxford: Clarendon Press, 1995. 392 p.

10. Diky V.V., Kabo G.J. Thermodynamic properties of  $\text{C}_{60}$  and  $\text{C}_{70}$  fullerenes. *Russ. Chem. Rev.* 2000. Vol. 69, no. 2, pp. 95–104.

## PHENOMENOLOGICAL MODEL OF THE THERMODYNAMIC FUNCTIONS FOR ENERGETICALLY MOST STABLE ISOMERS OF FULLERENES

© E.Yu. Pankratyev, R.V. Khatymov

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

In order to reveal their structural, thermodynamic and spectral regularities, we selected the most energetically favourable fullerenes  $\text{C}_n$  with carbon number  $n$  from 20 to 720 ( $n$  being an even number) among a large variety of hypothetically possible closed carbon clusters using the quantum-chemical approximation PBE /  $2\zeta$ . The resultant set of molecules included fullerenes which did not obey the isolated pentagon rule ( $\text{C}_{20}\text{-I}_h$  ( $\text{D}_{3d}$ ),  $\text{C}_{24}\text{-D}_{6d}$  ( $\text{D}_2$ ),  $^5\text{C}_{26}\text{-D}_{3h}$  ( $\text{C}_{2v}$ ),  $^5\text{C}_{28}\text{-T}_d$  ( $\text{C}_1$ ),  $\text{C}_{30}\text{-C}_{2v}\text{-3}$ ,  $\text{C}_{32}\text{-D}_3\text{-6}$ ,  $\text{C}_{34}\text{-C}_2\text{-5}$ ,  $\text{C}_{36}\text{-D}_{6h}\text{-15}$ ,  $\text{C}_{38}\text{-C}_2\text{-17}$ ,  $\text{C}_{40}\text{-D}_2\text{-38}$ ,  $\text{C}_{42}\text{-D}_3\text{-45}$ ,  $\text{C}_{44}\text{-D}_2\text{-75}$ ,  $\text{C}_{46}\text{-C}_2\text{-109}$ ,  $\text{C}_{48}\text{-C}_2\text{-171}$ ,  $\text{C}_{50}\text{-D}_3\text{-270}$ , and  $\text{C}_{52}\text{-C}_2\text{-422}$ ) and those which complied with this rule ( $\text{C}_{60}\text{-I}_h$ ,  $\text{C}_{70}\text{-D}_{5h}$ ,  $\text{C}_{72}\text{-D}_{6d}$ ,  $^3\text{C}_{74}\text{-D}_{3h}$ ,  $\text{C}_{76}\text{-D}_2$ ,  $\text{C}_{78}\text{-C}_{2v}\text{-3}$ ,  $\text{C}_{80}\text{-D}_{5d}\text{-1}$ ,  $\text{C}_{82}\text{-C}_2\text{-3}$ ,  $\text{C}_{84}\text{-D}_2\text{-22}$ ,  $\text{C}_{86}\text{-C}_2\text{-17}$ ,  $\text{C}_{90}\text{-C}_2\text{-45}$ ,  $\text{C}_{92}\text{-D}_3\text{-28}$ ,  $\text{C}_{94}\text{-C}_2\text{-43}$ ,  $\text{C}_{96}\text{-C}_2\text{-181}$ ,  $\text{C}_{98}\text{-C}_3\text{-148}$ ,  $\text{C}_{100}\text{-C}_1\text{-173}$ ,  $\text{C}_{120}\text{-T}_d$ ,  $\text{C}_{180}\text{-I}_h$ ,  $\text{C}_{240}\text{-I}_h$ ,  $^3\text{C}_{260}\text{-C}_3$ ,  $^3\text{C}_{320}\text{-D}_{3d}$ ,  $^3\text{C}_{500}\text{-D}_{3d}$ ,  $\text{C}_{540}\text{-I}_h$ , and  $\text{C}_{720}\text{-I}_h$ ) (all the structures were denoted as in the Atlas of Fullerenes and the multiplicity of the ground state was indicated if different from the singlet one). The validity of this series of compounds selected for further theoretical studies was confirmed by the fact that it appeared to include a whole family of fullerenes already obtained and experimentally identified. In addition, the sampled set included the experimentally confirmed  $\text{C}_{62}\text{-C}_{2v}$  structure which satisfied the isolated penta- and tetragon rule.

Detailed studies were carried out for the energetically most stable or a trifle less stable  $\text{C}_{20}\text{-C}_{720}$  fullerene isomers using a more complete and flexible triple split-valence basis set in the PBE /  $3\zeta$  approximation. The values of some thermodynamic functions (Gibbs energy, enthalpy, entropy) for standard conditions were calculated. For the molecules with a singlet state as the ground one, a phenomenological model was constructed for the dependence of the standard enthalpy of formation on the number of carbon atoms described fairly well by the function  $\Delta_f H_{298}^0(\text{C}_n) = (-8.826 + 43.888 \cdot e^{-9.046 \cdot \alpha} + 6.836 \cdot e^{-9.331 \cdot \alpha} + 19.165 \cdot e^{-2.236 \cdot \beta}) \cdot n$ . The parameters of the model  $\alpha = n / 180$  and  $\beta = n / 1500$  can be interpreted as the degree of steric strain of the fullerene framework.

Analysis of the constants of the phenomenological model allowed us to conclude that fullerenes  $\text{C}_{60}$ ,  $\text{C}_{70}$ ,  $\text{C}_{180}$  and  $\text{C}_{1500}$  hold a special place among all hypothetically possible energetically stable structures. Thus, the effect of the steric factor  $\alpha$  reduces substantially in the range between  $\text{C}_{60}$  and  $\text{C}_{70}$  and becomes vanishingly small starting from  $n = 180$ . The relevance of the second factor  $\beta$  extends to approximately  $n = 1500$ . With a further increase in the number of atoms  $n$ , one should expect the energy characteristics of fullerenes to obey the simple additive model.

The energy of singlet-triplet splitting was calculated for the entire set of selected energetically favourable fullerenes. As is shown, the electronic ground state of  $\text{C}_{260}\text{-C}_3$ ,  $\text{C}_{320}\text{-D}_{3d}$ , and  $\text{C}_{500}\text{-D}_{3d}$  structures is of triplet multiplicity probably indicative of their low kinetic stability.

Key words: fullerenes, sampled set, isomers, thermodynamic characteristics, phenomenological model, quantum-chemical calculations.

УДК 635.92:581.143.6

РАЗМНОЖЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *HEDYSARUM* L. *IN VITRO*

© А.Ш. Ахметова, А.А. Зарипова

В связи с постоянным истреблением и медленным восстановлением популяций редких видов растений актуальным является принятие мер по охране и восстановлению их генофонда. Для решения этой задачи, кроме использования традиционных способов, таких как интродукция, организация заповедников, заказников, необходимо культивирование этих растений *in vitro*. К редким видам, занесенным в Красную книгу Республики Башкортостан и Красную книгу Российской Федерации, относятся *Hedysarum argyrophyllum* Ledeb. и *Hedysarum grandiflorum* Pall.

В статье приведены результаты размножения *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum* в культуре *in vitro*. В лаборатории разработана технология клонального микроразмножения *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum*, включающая эксплантирование исходной ткани, собственно микроразмножение, укоренение размноженных побегов, подготовку растений-регенерантов к высадке в почвенный субстрат. Подобраны условия стерилизации, позволяющие достичь максимального числа стерильных эксплантов (83.3% – *H. argyrophyllum* и 87.4% – *H. grandiflorum*), которые характеризовались интенсивным ростом. Проведено исследование по подбору оптимальных концентраций регуляторов роста для увеличения коэффициента размножения и получения микропобегов, способных к укоренению. На этапе собственно микроразмножения практически на всех вариантах сред у представителей рода *Hedysarum* L. наблюдалось образование адвентивных побегов на семядольных узлах проростков без образования каллуса, т.е. отмечали прямую регенерацию побегов. Для *H. grandiflorum* оптимальной для побегообразования являлась питательная среда Мурасиге и Скуга с добавлением 1.0 мг/л БАП, коэффициент размножения при этом составил 4.9, для *H. argyrophyllum* – БАП 2.0 + ИУК 0.1, коэффициент размножения 8.0. Отмечена общая для всех изучаемых видов тенденция: на первых пассажах коэффициент размножения постепенно возрастал, достигая наибольших значений на 3–5 субкультивированиях, снова снижаясь на 6–7 пассажах. Результаты экспериментов по подбору питательных сред на этапе укоренения показывают значительные отличия укоренения побегов в зависимости от концентрации ауксинов, применяемых для индукции ризогенеза. Ризогенез индуцировали на среде ½ Мурасиге и Скуга, дополненной индолил-3-масляной кислотой в концентрации 0.5 мг/л.

Ключевые слова: редкие виды, культура *in vitro*, регенерация, размножение, регуляторы роста.

В данной работе объектом изучения являются представители рода *Hedysarum*: копеечник серебристолиственный *Hedysarum argyrophyllum* Ledeb. и копеечник крупноцветковый *Hedysarum grandiflorum* Pall. Исследуемые виды являются редкими и декоративными. *H. argyrophyllum* – редкий горно-степной эндемик Южного Урала и Приуралья [1]. *H. grandiflorum* – редкое растение Предуралья, занесенное в Красную книгу РФ [2]. Численность *H. argyrophyllum*, *H. grandiflorum* значительно колеб-

лется по годам и составляет от нескольких десятков до 1200 генеративных особей. Причиной резкого снижения численности в неблагоприятные годы является значительная гибель семенного потомства всех возрастных групп. Учитывая возможность повреждения значительного количества взрослых особей при выпасе скота, степных пожарах, разработке известняка, рекреационном воздействии, представляется необходимым, помимо охраны популяций *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum in situ*,

АХМЕТОВА Альбина Шамсуновна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: al\_sham@mail.ru

ЗАРИПОВА Альфия Ануровна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: zaripova.al@mail.ru

сохранение видов путем интродукции, с последующим созданием искусственных интродукционных популяций за пределами современного ареала. Поэтому разработка альтернативных способов для сохранения и восстановления численности редких видов *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum* весьма актуальна. Чрезвычайно важно и то, что такая разработка дает уникальную возможность сохранить природные популяции *H. argyrophyllum*, *H. grandiflorum*.

Проблема сохранения *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum in situ* может быть решена и путем введения этого растения в культуру тканей. При выборе стратегии сохранения биоразнообразия редких, исчезающих видов растений многими исследователями показана эффективность методов биотехнологии в сравнении с традиционными способами их размножения [3–6].

Цель исследования состояла в изучении возможности применения культуры *in vitro* для размножения *Hedysarum argyrophyllum* Ledeb. и *Hedysarum grandiflorum* Pall.

**Условия эксперимента.** В качестве исходного материала для исследований использовали семена *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum*, собранные с растений в местах их естественного произрастания. Работу в асептических условиях, стерилизацию питательных сред и посадочного материала проводили согласно имеющимся рекомендациям [7].

Поверхностную стерилизацию проводили с использованием в качестве стерилизующих агентов ртутьсодержащее соединение (диацид) в концентрации 0.1% и хлорсодержащее соединение (лизоформин) в концентрации 1.0%. Семена сначала обрабатывали 70%-м этанолом, затем одним из вышеперечисленных стерилизующих растворов. Экспозиция воздействия стерилизующих растворов составляла от 4 до 12 мин.

Семена *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum* помещали на безгормональную среду, содержащую минеральные соли по прописи MSO. После появления первых настоящих листьев у проростков удаляли корешки и пересаживали на питательную среду Мурасиге

и Скуга (MS) [8]. Процесс размножения изучали в контролируемых условиях: 16-часовой фотопериод, температура  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , влажность воздуха не менее 70%.

Для инициации морфогенетических процессов использовали модифицированные среды, различающиеся по типу и концентрации цитокининов: 6-БАП (6-бензиламинопурин), кинетин, а также ауксинов: ИУК (индолилуксусная кислота), ИМК (индолилмасляная кислота) и НУК ( $\alpha$ -нафтилуксусная кислота). Средняя продолжительность субкультивирования составляла 14–20 дней. Коэффициент размножения подсчитывали путем деления общего количества образовавшихся побегов за субкультивирование на число высаженных эксплантов. Учитывали регенерационную способность эксплантов (количество и длину побегов, корней). Адаптацию растений-регенерантов к нестерильным условиям выращивания осуществляли в теплице.

**Результаты и обсуждение.** Одним из ключевых моментов размножения *in vitro* является разработка приемов введения растительного материала в стерильную культуру, что предусматривает как выбор экспланта, так и подбор условий стерилизации.

Использованные нами стерилизующие растворы по-разному влияли на жизнеспособность семян и последующее развитие проростков (табл. 1).

Из таблицы следует, что применение лизоформина для стерилизации семян не является оптимальным, так как при его использовании получено лишь 12.2–30.6% стерильной культуры. Несмотря на выдерживание семян в лизоформине в течение 12 мин, число инфицированных оставалось высоким и составляло 69.4%. При асептической обработке семян *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum* в 0.1% растворе диацида в течение 8 мин получено максимальное число стерильных эксплантов (83.3% – *H. argyrophyllum* и 87.4% – *H. grandiflorum*), которые характеризовались интенсивным ростом.

Интенсивность морфогенеза зависела от наличия регуляторов роста, использованных в питательной среде. Одним из наи-

более мощных индукторов морфогенеза, который принято называть стимулирующим фактором или сигналом морфогенеза, является изменение соотношения между цитокининами и ауксинами, входящими в состав питательных сред [9, 10]. Для увеличения коэффициента размножения и получения микропобегов, способных к укоренению, было проведено исследование по подбору оптимальных концентраций регуляторов роста. В исследовании было испытано 4 варианта комбинации регуляторов роста в питательной среде MS (табл. 2).

На этапе собственно микроразмножения практически на всех вариантах сред у представителей рода *Hedysarum* L. наблюдалось образование адвентивных побегов на семядольных узлах проростков без образования каллуса, т.е. отмечали прямую регенерацию побегов. Изучение влияния регуляторов роста на побегообразование показало, что содержание в среде кинетина 0.5 мг/л + ИУК 0.2 мг/л незначительно увеличивало коэффициент размножения исследуемых видов. Под воздействием БАП 0.5 мг/л + ИУК 0.2 мг/л коэффициент размножения и средняя длина побегов *H. argyrophyllum* превышали значения этих показателей у *H. grandiflorum*. Коэффициент размножения дополнительных побегов составил 3.8 и 2.6 соответственно. Коэффициент размножения *H. grandiflorum* на питательной среде с добавлением БАП в концентрации 1.0 мг/л почти в 2.5 раза был выше, чем у *H. argyrophyllum* на данной среде (см. табл. 2). Коэффициент размножения исследуемых видов на среде БАП 2.0 мг/л + ИУК 0.1 мг/л различался в 2 раза. Если у *H. argyrophyllum* наблюдалось разрастание тканей побега и образование большого числа адвентивных почек с коэффициентом размножения, равным 8.0, то побеги *H. grandiflorum* были витрифицированные. Одновременно на данной среде стимулировался рост стебля. Длина побегов *H. grandiflorum* составляла 14.8 мм.

Установлено также, что коэффициент размножения представителей рода *Hedysarum* в процессе культивирования су-

щественно изменялся. Отмечена общая для всех изучаемых видов тенденция: на первых пассажах коэффициент размножения постепенно возрастал, достигая наибольших значений на 3–5-м субкультивированиях, снова снижаясь на 6–7-м пассажах. Максимальный коэффициент размножения *H. grandiflorum* на 5-м субкультивировании, *H. argyrophyllum* – на 4-м пассаже.

Таким образом, для *H. grandiflorum* оптимальной для побегообразования являлась питательная среда MS с добавлением 1.0 мг/л БАП, коэффициент размножения при этом составил 4.9, для *H. argyrophyllum* – БАП 2.0 + ИУК 0.1, коэффициент размножения 8.0.

Для стимуляции процесса укоренения на полученных микропобегах из питательной среды исключали цитокинины. Результаты экспериментов по подбору питательных сред на этапе укоренения показывают значительные отличия укоренения побегов в зависимости от концентрации ауксинов, применяемых для индукции ризогенеза. Микропобеги укореняли на среде ½ MS, дополненной ауксинами: 1) ИМК 0.5 мг/л; 2) ИМК 0.2 мг/л + ИУК 0.2 мг/л. Результаты укоренения микропобегов *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum* указывают на целесообразность использования в качестве индуктора ИМК (табл. 3).

Концентрация ИМК 0.5 мг/л обеспечивала высокий процент укоренения побегов (рис. 3). Интенсивность ризогенеза в первом варианте опыта составила 4.7 и 6.4 шт. на побег, а длина корней достигала 58.7 и 71.4 мм для *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum* соответственно. Следовательно, питательную среду ½ MS, дополненную ИМК 0.5 мг/л, можно рекомендовать для укоренения растений-регенерантов *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum*.

Наиболее ответственным при клональном микроразмножении является перенос растений-регенерантов в нестерильные условия, т.е. высадка их в почвенный субстрат. Именно на этом этапе отмечается наибольший процент гибели пробирочных растений. Адаптацию растений-регенеран-

тов проводили при освещенности 3 лк, температуре  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  в теплице. В качестве субстрата использовали смесь: торф, песок и дерновая почва (1:1:2). Для регуляции влажности использовали пищевую пленку с последующим ее перфорированием. Выход адаптированных растений составил 70–80%.

Проведенное изучение подбора условий культивирования *H. argyrophyllum* и

*H. grandiflorum in vitro* показало возможность эффективного применения метода культуры тканей для их размножения. Клетки специализированных тканей семядольного узла стерильных проростков изучаемых видов в условиях *in vitro* обладают тотипотентностью, т.е. способностью к размножению и формированию полноценных растений при подобранных условиях культивирования. Показано, что способ-

Т а б л и ц а 1

Влияние стерилизующего раствора и его экспозиции на получение стерильных эксплантов *Hedysarum argyrophyllum* и *Hedysarum grandiflorum*, (%)

Генотип	Стерилизующий раствор					
	диацид 0.1%			лизоформин 1.0%		
	экспозиция стерилизации, мин			экспозиция стерилизации, мин		
	4	6	8	6	10	12
<i>H. argyrophyllum</i>	$12.5 \pm 4.77$	$42.6 \pm 6.73$	$83.3 \pm 5.38$	$12.2 \pm 4.67$	$20.4 \pm 5.76$	$30.6 \pm 6.58$
<i>H. grandiflorum</i>	$16.7 \pm 5.07$	$41.7 \pm 7.12$	$87.4 \pm 4.58$	$13.7 \pm 4.73$	$17.3 \pm 5.25$	$25.0 \pm 6.00$

Т а б л и ц а 2

Влияние регуляторов роста на коэффициент размножения, длину побегов *Hedysarum argyrophyllum* и *Hedysarum grandiflorum*

№ варианта	Регуляторы роста, мг/л	Коэффициент размножения	Средняя длина побега, мм
<i>Hedysarum argyrophyllum</i>			
1	кинетин 0.5 + ИУК 0.2	$2.2 \pm 0.4$	$5.36 \pm 2.11$
2	БАП 0.5 + ИУК 0.2	$3.8 \pm 0.5$	$6.08 \pm 1.32$
3	БАП 1.0	$2.0 \pm 0.3$	$4.09 \pm 1.34$
4	<b>БАП 2.0 + ИУК 0.1</b>	<b><math>8.0 \pm 1.2</math></b>	<b><math>12.33 \pm 1.79</math></b>
<i>Hedysarum grandiflorum</i>			
1	кинетин 0.5 + ИУК 0.2	$1.8 \pm 0.2$	$7.56 \pm 3.97$
2	БАП 0.5 + ИУК 0.2	$2.6 \pm 0.4$	$5.13 \pm 1.80$
3	<b>БАП 1.0</b>	<b><math>4.9 \pm 0.9</math></b>	<b><math>5.53 \pm 2.23</math></b>
4	БАП 2.0 + ИУК 0.1	$4.2 \pm 1.1$	$14.81 \pm 2.34$

Т а б л и ц а 3

Влияние различных индукторов ризогенеза на образование корневой системы микропобегов *Hedysarum argyrophyllum* и *Hedysarum grandiflorum*

Регуляторы роста, мг/л	Укорененные побеги, %	Число корней, шт.	Средняя длина корней, мм
ИМК 0.5	$73.8 \pm 15.2$	$4.7 \pm 0.5$	$58.7 \pm 1.3$
	$88.6 \pm 10.6$	$6.4 \pm 1.5$	$71.4 \pm 1.9$
ИМК 0.2 + ИУК 0.2	$61.0 \pm 15.9$	$2.9 \pm 0.5$	$52.3 \pm 2.6$
	$78.3 \pm 11.7$	$6.1 \pm 1.3$	$61.8 \pm 2.1$

\* Примечание: в числителе *H. argyrophyllum*, в знаменателе *H. grandiflorum*

ность к индуцированному морфогенезу тканей проростка существенно зависела от состава питательной среды. Установлено, что для стерилизации семян *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum* оптимальной является их обработка 70%-м раствором этанола в течение 1 мин и 0.1%-м раствором диацетида в течение 8 мин. Для клонального микроразмножения побегов необходимо присутствие в питательной среде цитокининов и ауксинов. Выявлены оптимальные питательные среды, позволяющие получать максимальное побегообразование на эксплантах (MS, дополненная БАП 2.0 мг/л + ИУК 0.1 мг/л и БАП 1.0 мг/л) и укоренение (MS, дополненная ИМК 0.5 мг/л). Выявлено, что для эксплантов изученных таксонов *H. argyrophyllum* и *H. grandiflorum* характерна прямая регенерация. Разработанные нами методики позволяют достигать высокой жизнеспособности эксплантов и получать в течение года в 10–30 раз больше посадочного материала, чем при размножении традиционным способом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Красная книга Республики Башкортостан. Растения и грибы. Уфа: МедиаПринт, 2011. Т. 1. 383 с.
2. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы. М.: Товарищество научных изданий, 2008. 885 с.
3. Белокурова В.Б. Использование методов биотехнологии растений для сохранения и изучения биоразнообразия мировой флоры // Цитология и генетика. 2005. № 1. С. 41–51.
4. Ишмуратова М.М., Зарипова А.А. Особенности морфогенеза *Polemonium caeruleum* L. *in vivo* и *in vitro* // Растительные ресурсы. 2000. Т. 36, вып. 3. С. 106–114.
5. Мухаметвафина А.А., Байбурина Р.К., Миронова Л.Н. Особенности регенерации *Lilium regale* Wils. и *L. henryi* Baker из фрагментов бутонов в культуре *in vitro* // Биотехнология. 2009. № 2. С. 37–41.
6. Ахметова А.Ш., Миронова Л.Н., Байбурина Р.К. Род *Tulipa* L. Биология, интродукция и размножение в культуре *in vivo* и *in vitro*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 204 с.
7. Калинин В.Ф., Сарнацкая В.В., Полищук В.Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. Киев: Наукова думка, 1980. 488 с.
8. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiol. Plant.* 1962. V. 15, № 13. P. 473–497.
9. Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнология на их основе. М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. 160 с.
10. Высоцкий В.А. Биотехнологические методы в системе производства оздоровленного материала плодовых и ягодных растений: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1998. 44 с.

#### References

1. Red Data Book of the Republic of Bashkortostan. Plants and mushrooms. Vol. 1. Уфа: MediaPrint, 2011. 383 p.
2. Red Data Book of the Russian Federation. Plants and mushrooms. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008. 885 p.
3. Belokurova V.B. Use of plant biotechnology methods to preserve and study global plant biodiversity. *Tsitologiya i genetika*, 2005, no. 1, pp. 41–51.
4. Ishmuratova M.M., Zaripova A.A. Morphogenetic features of *Polemonium caeruleum* L. *in vivo* and *in vitro*. *Rastitelnye resursy*, 2000, vol. 36, no. 3, pp. 106–114.
5. Mukhametvafina A.A., Bayburina R.K., Mironova L.N. Features of *Lilium regale* Wils. and *L. henryi* Baker regeneration from bud fragments in *in vitro* culture. *Biotechnologiya*, 2009, no. 2, pp. 37–41.
6. Akhmetova A.Sh., Mironova L.N., Bayburina R.K. The genus *Tulipa* L. Biology, introduction and propagation in *in vivo* and *in vitro* cultures. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 204 p.
7. Kalinin V.F., Sarnatskaya V.V., Polishchuk V.E. Tissue culture methods in plant physiology and biochemistry. Kiev, Naukova dumka, 1980. 488 p.
8. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.*, 1962, vol. 15, no. 13, pp. 473–497.
9. Butenko R.G. Biology of higher plant cells *in vitro* and biotechnology on their basis. Moscow, FBK-PRESS, 1999. 160 p.
10. Vysotskiy V.A. Biotechnological methods in the system for producing rehabilitated fruit and berry plant material. Dr. Sci. Thesis in Agriculture. Moscow, 1998. 44 p.



**IN VITRO PROPAGATION OF SOME SPECIES  
OF THE GENUS *HEDYSARUM* L.**

© **A.Sh. Akhmetova, A.A. Zaripova**

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

In connection with constant destruction and slow recovery rates of rare plant populations it is currently important to take measures to protect and restore their gene pool. To tackle this problem, the cultivation of plants *in vitro* appears to be necessary alongside conventional methods such as plant introduction and establishment of nature reserves and botanical sanctuaries. Among other rare species, the Red Data Book of the Republic of Bashkortostan and that of the Russian Federation include *Hedysarum argyrophyllum* Ledeb. and *Hedysarum grandiflorum* Pall.

The article presents the results of reproducing *H. argyrophyllum* and *H. grandiflorum* in *in vitro* culture. The laboratory has developed a technology of the clonal micropropagation of *H. argyrophyllum* and *H. grandiflorum*, including explantation of original tissue, micropropagation itself, shoot rooting and preparation of regenerated plants for growing in the soil. The sterilization conditions were selected which allow obtaining the maximum number of sterile explants (83.3% for *H. argyrophyllum* and 87.4% for *H. grandiflorum*) characterized by intensive growth. Research was performed on selecting optimal concentrations of growth regulators to increase the propagation coefficient and obtain microshoots capable of rooting. At the stage of micropropagation almost on all types of growth media, representatives of the genus *Hedysarum* L. showed the formation of adventive shoots from cotyledon nodes of their seedlings without any callus formation, i.e. direct shoot regeneration was observed. Murashige and Skoog basal medium supplemented with 1.0 mg/L BAP for *H. grandiflorum* and BAP 2.0 + IAA 0.1 for *H. argyrophyllum* was optimal to form shoots, with the propagation coefficients 4.9 and 8.0, respectively. There was a common trend for both species in question: the propagation coefficient increased gradually at the early passages, reached the highest values in subcultures 3–5 and decreased at passages 6–7. The experimental results in selecting growth media for the rooting stage attested to considerable differences in rooting rates depending on the concentrations of auxin used to trigger root formation. Rhizogenesis was induced on ½ MS medium supplemented with indole-3-butyric acid in a concentration of 0.5 mg/L.

**Key words:** rare species, *in vitro* culture, regeneration, propagation, growth regulators.

УДК 635.9; 630\*181.28:(470.57)

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДЕКОРАТИВНЫЕ КУСТАРНИКИ  
РОДОВ *PENTAPHYLLOIDES* DUHAM. И *SPIRAEA* L. ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ  
В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**

© Ф.К. Мурзабулатова, Н.В. Полякова

Представлены результаты многолетних интродукционных наблюдений за коллекциями декоративных кустарников из родов *Pentaphylloides* Duham. и *Spiraea* L., прошедших акклиматизацию в условиях г. Уфы.

В настоящее время в практике озеленения существует необходимость постоянного обогащения ассортимента растений за счет интродукции новых древесно-кустарниковых видов и сортов. Особо актуальным становится пополнение ассортимента неприхотливыми и устойчивыми таксонами, обладающими такими качествами, как длительность и обилие цветения. В данной работе представлена характеристика некоторых представителей двух родов семейства *Rosaceae* (*Pentaphylloides* Duham. и *Spiraea* L.), которые на протяжении многих лет культивируются в ботаническом саду г. Уфы. Данные по этим таксонам включают в себя краткую морфологическую характеристику, размеры кустов в определенном возрастном состоянии, продолжительность периода вегетации, начало и продолжительность цветения, степень зимостойкости, устойчивость к болезням и вредителям. Использование в озеленении представленных видов и сортов способствует созданию оригинальных ландшафтных композиций, а также позволит существенно продлить срок их цветения.

Ключевые слова: *Pentaphylloides* Duham., *Spiraea* L., продолжительность цветения, зимостойкость.

Интродукция растений является одним из важнейших методов повышения ассортимента декоративных культур. При построении ландшафтных композиций учитываются те или иные декоративные признаки, в зависимости от цели самой работы и ожидаемого эффекта [1–5]. Одним из важнейших декоративных признаков, особенно для древесных культур, является продолжительность цветения. В нашей работе мы представляем характеристику некоторых представителей двух родов семейства *Rosaceae* (*Pentaphylloides* Duham. и *Spiraea* L.), которые на протяжении многих лет культивируются в ботаническом саду г. Уфы и отличаются либо очень продолжительным цветением, либо весьма оригинальными декоративными качествами, что позволяет отнести их к группе перспективных древесных культур для озеленения в условиях Республики Башкортостан.

При проведении интродукционных исследований применялась методика фенологических наблюдений, принятая в ботанических садах [6]; зимостойкость растений определялась по методике Главного ботанического сада РАН [7].

**Курильский чай, или Пятилисточник (*Pentaphylloides* Duham.)**

**Курильский чай кустарниковый ‘Abbotswood’ (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz ‘Abbotswood’).** Кустарник до 100 см в высоту, диаметр кроны до 130 см. Листья светло-зеленые. Цветки чисто-белые, до 2.5 см в диаметре, одиночные или собранные в небольшие кисти. Саженцы получены из Голландии в 2001 г., в коллекции 2 экземпляра. В ботаническом саду в возрасте 14 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 80 см, диаметр кроны 120 см. Вегетация отмечается в среднем с 23 апреля по 25 октября.

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

Продолжительность периода вегетации 185 дней. Цветет с 27 мая по 13 сентября, продолжительность цветения – 109 дней. Сорт устойчив к вредителям и болезням. Зимостойкость высокая (I балл); в суровые малоснежные зимы повреждений не наблюдалось.

**Курильский чай кустарниковый ‘Elizabeth’** (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz ‘Elizabeth’). Высота куста до 80 см, диаметр подушковидной кроны до 120 см. Листья имеют сизовато-зеленую окраску. Цветки светло-желтые, до 5.0 см в диаметре. В коллекции 2 экземпляра, саженцы получены из Польши в 2013 г. В коллекции в возрасте 3 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 30 см, диаметр кроны 45 см. Вегетирует с 28 апреля по 23 октября. Темп роста средний. Продолжительность периода вегетации 178 дней. Цветет в среднем с 9 июня по 20 октября, продолжительность цветения 133 дня. Сорт устойчив к вредителям и болезням. Зимостойкость I балл, зимует под снегом.

**Курильский чай кустарниковый ‘Goldfinger’** (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz ‘Goldfinger’). Кустарник с компактной, густой кроной, 100 см высотой и до 150 см в диаметре. Листья темно-зеленые. Цветки многочисленные, интенсивно-желтые, до 5.0 см в диаметре. В коллекции 3 экземпляра, саженцы получены из Голландии в 2001 г. В возрасте 13 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 100 см, диаметр кроны 110 см. Вегетирует с 25 апреля по 13 октября. Темп роста высокий. Продолжительность периода вегетации 185 дней. Цветет с 10 июня по 3 октября, продолжительность фенофазы 115 дней. Зимостойкость I балл. Сорт устойчив к вредителям и болезням.

**Курильский чай кустарниковый ‘Lovely Pink’** (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz ‘Lovely Pink’). Кустарник высотой до 80 см, диаметр кроны до 120 см, форма кроны подушковидная или округлая, густая. Листья зеленые, с серебристым оттенком из-за легкого ворсистого опушения, осенью листья приобретают желтую окра-

ску. Цветки розовые, диаметром от 3 до 5 см. Саженцы в коллекцию поступили из Польши в 2013 г. В Уфе в возрасте 5 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 20 см, диаметр кроны 45 см. Вегетация начинается 28 апреля, заканчивается 23 октября. Продолжительность периода вегетации 178 дней. Цветение отмечается в среднем с 21 июня по 20 октября, продолжительность фазы цветения 121 день. Зимостойкость составляет I балл (зимует под снегом). Сорт устойчив к вредителям и болезням.

**Курильский чай кустарниковый ‘Primrose Beuty’** (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz ‘Primrose Beuty’). Кустарник высотой до 120 см, с шарообразной кроной, диаметром до 120 см. Цветки светло-желтые, многочисленные, до 4.0 см в диаметре. Саженцы получены из Польши в 2013 г. В возрасте 5 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 100 см, диаметр кроны – 120 см. Начало вегетации отмечается в среднем 26 апреля, окончание – 17 октября; продолжительность периода вегетации 174 дня. Цветение начинается 7 июня и заканчивается 27 сентября, продолжительность – 84 дня. Зимостойкость I балл. Сорт устойчив к вредителям и болезням.

**Курильский чай кустарниковый ‘Princess’** (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz ‘Princess’). Кустарник с подушковидной кроной высотой до 80 см, диаметром до 120 см. Листья темно-зеленые. Цветки 3–3.5 см в диаметре, розовые. В коллекции ботанического сада 3 экземпляра, саженцы поступили из Голландии в 2001 г. В возрасте 13 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 65 см, диаметр кроны – 80 см. Вегетирует с 26 апреля по 27 октября; продолжительность периода вегетации 184 дня. Цветение начинается 22 июня и заканчивается 11 октября, продолжительность – 111 дней. Зимостойкость I балл; в суровые, малоснежные зимы снижения зимостойкости не наблюдалось. Сорт устойчив к вредителям и болезням.

**Курильский чай кустарниковый** ‘*Tilford Cream*’ (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz ‘Tilford Cream’). Высота куста 35–60 см, диаметр кроны – 120 см. Листья ярко-зеленые. Цветки белые, с кремовым оттенком, до 5.0 см в диаметре. Саженцы получены из Польши в 2013 г., в коллекции 2 экземпляра. В Уфе в возрасте 3 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 25 см, диаметр кроны 30 см. Vegetирует с 25 апреля по 23 октября; продолжительность периода вегетации 178 дней. Цветение начинается в среднем 1 июня и заканчивается 1 октября, продолжительность цветения – 122 дня. Зимостойкость I балл. Сорт устойчив к вредителям и болезням.

**Курильский чай маньчжурский** (*Pentaphylloides mandshurica* (Maxim.) Sojak.). Густоветвистый кустарник 60 см высотой. Ветви с серой или серовато-бурой отслаивающейся корой. Листья непарноперистые, с 5–7 листочками. Цветки в малочетковых верхушечных щитковидных соцветиях, иногда одиночные, белые, 5-лепестковые, яйцевидно-округлые, цельнокрайние. Цветки и чашелистики оттопыренно-волосистые. Занесен в Красную книгу РФ [8]. В коллекции 2 экземпляра, выращены из семян, полученных в 1999 г. из БС МарГТУ г. Йошкар-Олы. Растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 60 см, диаметр кроны 50 см. Vegetирует с 30 апреля по 20 октября; продолжительность периода вегетации 173 дня. Зацветает в среднем 15 июня, заканчивает цветение в среднем 16 июля. В условиях ботанического сада формирует семена. Зимостойкость I балл. Вид устойчив к вредителям и болезням.

**Спирея, или Таволга** (*Spiraea* L.)

Коллекция ботанического сада включает 29 таксонов спирей [9], наиболее декоративными и устойчивыми из которых являются следующие.

**Спирея Биллиарда** (*Spiraea Billardii* Durr.). Кустарник с раскидистой кроной, высотой до 200 см. Листья широколанцетные, до продолговато-эллиптических, ко-

ротко заостренные, ширококлиновидные. Листовая пластинка снизу серовато-войлочно-опушенная. Соцветия – узкие густые пирамидальные метелки, иногда разветвленные, войлочно-опушенные. Цветки ярко-розовые, лепестки короче тычинок. В коллекции 2 экземпляра, поступили в коллекцию в 2001 г. из Польши в виде саженцев. В возрасте 14 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 110 см, диаметр кроны 150 см. Vegetационный период начинается 15 апреля и заканчивается 30 октября. Продолжительность периода вегетации – 198 дней. Начало фазы цветения отмечается в среднем 25 июня, продолжительность в среднем 45 дней. Зимостойкость составляет I балл. Устойчив к вредителям и болезням.

**Спирея Бумальда ‘Anthony Waterer’** (*Spiraea × bumalda* Burv. ‘Anthony Waterer’). Компактный кустарник до 80 см высотой. Листья узкие, ланцетные, заостренные, темно-зеленые. Соцветия щитковидные, до 8 см шириной. Цветки яркие, карминно-красные. Саженцы поступили из Польши в 2001 г., в коллекции 2 экземпляра. В возрасте 14 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 80 см, диаметр кроны 100 см. Vegetационный период начинается 25 апреля и заканчивается 27 октября. Продолжительность периода вегетации 185 дней. Начало фазы цветения 29 июня, продолжительность в среднем 35 дней. Зимостойкость I балл. Сорт устойчив к вредителям и болезням.

**Спирея Бумальда ‘Goldflame’** (*Spiraea × bumalda* Burv. ‘Goldflame’). Кустарник с плотной, компактной кроной, высотой до 80 см, диаметром до 100 см. Листья продолговатые, по краю зубчатые, 5–8 см длиной. Молодые листья оранжево-красного или бронзово-золотистого цвета. Позже листья становятся ярко-желтыми и желто-зелеными к моменту цветения. Осенняя окраска листьев – медно-оранжевая. Иногда на кусте появляются пестрые листья. Цветение обильное. Цветки мелкие, ярко-розовые. Саженцы получены в 2003 г. из Польши, в коллекции 2 экземпля-

ра. В возрасте 12 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 80 см, диаметр кроны 100 см. Vegetационный период начинается 25 апреля и заканчивается 29 октября. Продолжительность периода вегетации 187 дней. Начало фазы цветения 23 июня, продолжительность в среднем 39 дней. Зимостойкость составляет I балл. Сорт устойчив к вредителям и болезням.

**Спирея Вангутта** (*Spiraea* × *vanhouttei* (Briot) Zbl.). Гибрид между спиреей кантонской и спиреей трехлопастной (*S. cantoniensis* × *S. trilobata*). Крона раскидистая, высотой до 200 см и шириной 200 см. Побеги дугообразно изогнуты вниз. Листья до 3.5 см длиной, обратнойцевидные, зубчатые, 3–5-лопастные, сверху темно-зеленые, снизу тускло-сизые, голые. Цветки чисто-белые, в густых, многочисленных полушаровидных соцветиях, густо покрывающих весь побег. В коллекции 4 экземпляра; в возрасте 12 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 100 см, диаметр кроны 110 см. Vegetационный период начинается 20 апреля и заканчивается 20 октября. Темп роста высокий. Продолжительность периода вегетации 183 дня. В ботаническом саду г. Уфы цветение начинается в среднем 15 июня, продолжительность – 14 дней. Вид устойчив к вредителям и болезням. Зимостойкость – I балл, в суровые малоснежные зимы наблюдается обмерзание однолетних побегов.

**Спирея японская ‘Halward’s Silver’** (*Spiraea nipponica* Maxim. ‘Halward Silver’). Кустарник с густой, компактной, плотной, приземистой кроной, до 100 см высотой и 130 см в диаметре. Листья мелкие, темно-зеленые. Соцветия небольшие, выпуклые, щитковидные. Цветки белые. Сажены в количестве 2 экземпляров в 2001 г. получены из Польши. В возрасте 14 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 80 см, диаметр кроны 110 см. Vegetационный период начинается 29 апреля и заканчивается 24 октября. Темп роста невысокий. Продолжительность периода вегетации 178 дней.

В ботаническом саду г. Уфы цветение начинается в среднем 3 июня, продолжительность – 14 дней. Вид устойчив к вредителям и болезням. Зимостойкость составляет I балл, даже в суровые малоснежные зимы обмерзание побегов не наблюдалось.

**Спирея серая ‘Grefsheim’** (*Spiraea cinerea* Zab. ‘Grefsheim’). Кустарник до 2 м высотой, сильно разветвленный. Побеги слабoreбристые, серовойлочные, коричневые, поникающие. Листья с обоих концов заостренные, с коротким черешком. Листовая поверхность серо-зеленая, снизу светлее, серо-войлочная. Соцветия – простые рыхлые щитки, расположенные по всему побегу. Цветки чисто-белые, лепестки продолговато-округлые, длиннее тычинок. После окончания цветения цветки полностью опадают. Сажены получены из Польши в 2001 г., в коллекции 4 экземпляра. В возрасте 14 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 130 см, диаметр кроны 150 см. Vegetационный период начинается 20 апреля и заканчивается 20 октября. Темп роста высокий. Продолжительность периода вегетации 183 дня. В ботаническом саду г. Уфы, цветение начинается в среднем 20 мая, продолжительность цветения 14 дней. Культивар устойчив к вредителям и болезням. Зимостойкость составляет I балл.

**Спирея японская ‘Crispa’** (*Spiraea japonica* L. ‘Crispa’). Кустарник высотой до 50 см и 70–80 см в диаметре. Побеги опушенные, коричневые, полосатые. Листья зубчатые, глубоко рассеченные, с волнисто-завывающимся краем, при распускании винно-красные, позднее – зеленые. Соцветия щитковидные, до 5.5 см в диаметре. Цветки темно-пурпурные. Сажены получены из Польши в 2003 г., в коллекции 2 экземпляра. В возрасте 9 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 40 см, диаметр кроны 50 см. Vegetационный период начинается 29 апреля и заканчивается 31 октября. Продолжительность периода вегетации – 185 дней. Начало фазы цветения 28 июня, продолжительность цветения в среднем составляет

54 дня. Зимостойкость I балл. Сорт устойчив к вредителям и болезням.

**Спирея японская ‘Genpei’** (*Spiraea japonica* L. ‘Genpei’). Кустарник с шаровидной густой кроной, высотой до 60–80 см, диаметр кроны 100 см. Кора побегов красно-коричневая. Листья узколанцетные, до 2 см длиной, окраска темно-зеленая. Соцветия плоские, щитковидные. Цветки разных оттенков: бело-розово-красные. В коллекции 2 экземпляра, саженцы получены из Польши в 2013 г. В возрасте 4 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 25 см, диаметр кроны – 20 см. Вегетационный период начинается 28 апреля и заканчивает 15 октября. Продолжительность периода вегетации 170 дней. Начало фазы цветения 3 июля, продолжительность в среднем 45 дней. Зимостойкость составляет I балл.

**Спирея японская ‘Japanese Dwarf’** (*Spiraea japonica* L. ‘Japanese Dwarf’). Карликовый кустарник с плотной кроной, высотой до 30 см. Листья мелкие, с пильчатым краем, ярко-зеленой окраски. Соцветия – плоские щитки до 3 см в диаметре на концах побегов; цветки розовые. Саженцы поступили из Польши в 2007 г., в коллекции 3 экземпляра. В возрасте 8 лет растение имеет следующие характеристики: высота в среднем 20 см, диаметр кроны 25 см. Вегетировать начинает 28 апреля и заканчивает 15 октября. Продолжительность периода вегетации 170 дней. Начало фазы цветения 3 июля, продолжительность в среднем 17 дней. Зимостойкость I балл.

**Спирея японская ‘Little Princess’** (*Spiraea japonica* L. ‘Little Princess’). Кустарник с компактной, округлой, плотной кроной, высотой до 60 см, диаметр кроны 120 см. Листья эллиптические, темно-зеленые. Цветки розово-красные, собраны в щитковидные соцветия до 3–4 см в диаметре. Саженцы получены из Польши в 2001 г., в коллекции 3 экземпляра. В возрасте 12 лет растения имеют следующие характеристики: высота в среднем 60 см, диаметр кроны 100 см. Вегетационный период начинается 3 мая и заканчивается 9 октября. Продолжи-

тельность периода вегетации 159 дней. Начало фазы цветения 16 июня, продолжительность цветения в среднем 36 дней. Зимостойкость высокая (I балл). Культивар устойчив к вредителям и болезням.

**Спирея японская ‘Magic Carpet’** (*Spiraea japonica* L. ‘Magic Carpet’). Кустарник с плотной, подушковидной кроной, высотой до 60 см, диаметр кроны – до 100 см. Молодые побеги опушенные. Листья ланцетные, при распускании имеют яркую медно-красную окраску, затем становятся желтыми, осенью листва вновь приобретает красно-оранжевые оттенки. Соцветия щитковидные, до 5 см в диаметре. Цветки розовые, с фиолетовым оттенком. Цветение обильное и продолжительное. Саженцы данного сорта в количестве 2 экземпляров поступили в коллекцию в 2008 г. из Польши. В возрасте 7 лет растение имеет следующие характеристики: высота в среднем 50 см, диаметр кроны – 70 см. Вегетационный период начинается 26 апреля и заканчивается 25 октября. Продолжительность периода вегетации 182 дня. Начало фазы цветения 30 июня, продолжительность в среднем 52 дня. Зимостойкость составляет I балл.

Таким образом, в ботаническом саду г. Уфы собрана большая коллекция декоративных кустарников, прошедших многолетнюю акклиматизацию в условиях Башкирского Предуралья. Использование в озеленении видов и сортов кустарников родов *Pentaphylloides* и *Spiraea* с разными сроками и продолжительностью цветения, различной окраской цветков и соцветий позволит значительно разнообразить ландшафтные композиции и продлить срок их цветения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полякова Н.В. Биоразнообразие декоративных кустарников-интродуцентов в Башкирском ботаническом саду // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: Мат-лы Междунар. конф. Оренбург, 2001. С. 149–150.
2. 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) // Овоще-

водство и плодородство 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.

3. Полякова Н.В., Путенихин В. П. Оценка декоративности сирени (*Syringa* L.) // Аграрная Россия. 2013. № 2. С.14–19.

4. Мурзабулатова Ф.К., Полякова Н.В. О методике оценки декоративности гортензий (*Hydrangea* L.) // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 1. С. 266–270.

5. Мурзабулатова Ф.К., Полякова Н.В., Мало-распространенные декоративно-лиственные кустарники коллекции Уфимского ботанического сада // Живые и биокосные системы. 2015. № 13.

6. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М., 1975. 78 с.

7. Лапин П.И., Александрова М.С., Бородина Н.А. и др. Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР. М.: Наука, 1975. 547 с.

8. Красная Книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.

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

#### References

1. Polyakova N.V. Biodiversity of ornamental shrubs introduced into the Bashkir Botanical Garden. Bioraznობობრძე i biosursy Urala i sopredelnykh territoriy. Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii. Orenburg, 2001, pp. 149–150.

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

3. Polyakova N.V., Putenikhin V.P. Assessment of lilac (*Syringa* L.) ornamental properties. Agrarnaya Rossiya, 2013, no. 2, pp.14–19.

4. Murzabulatova F.K., Polyakova N.V. On the methods of assessing *Hydrangea* L. ornamental properties. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, 2014, vol. 16, no. 1, pp. 266–270.

5. Murzabulatova F.K., Polyakova N.V. Low-abundance ornamental deciduous shrubs in the collection of the Ufa Botanical Garden. Zhivye i biokosnyye sistemy, 2015, no. 13.

6. Methods of phenological observations in botanical gardens of the USSR. Moscow, 1975. 78 p.

7. Arboreous plants in the Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR. M.S. Aleksandrova, N.A. Borodina, P.I. Lapin, S.N. Makarov, I.P. Petrova, L.S. Plotnikova, S.V. Sidneva, N.V. Stogova, V.D. Shcherbatsevich, E.I. Yakushina. Moscow, Nauka, 1975. 547 p.

8. Red Data Book of the Russian Federation. Plants and mushrooms. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008. 855 p.

9. Plant catalogue of the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Centre, RAS. Ufa, AN RB, Gilem, 2012. 224 p.

## PROMISING ORNAMENTAL SHRUBS OF THE GENERA *PENTAPHYLLOIDES* DUHAM. AND *SPIRAEA* L. FOR GARDENING IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

© F.K. Murzabulatova, N.V. Polyakova

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

The article gives the results of long-term introduction observations over the collections of ornamental shrubs, of the genera *Pentaphylloides* Duham and *Spiraea* L. that have undergone acclimatization under the conditions of the city of Ufa located in the Bashkir Cis-Urals.

Nowadays there is a need in gardening practice to constantly enrich the assortment through introducing new woody and shrubby plant species and varieties. The assortment replenishment with unpretentious and tolerant taxa possessing such qualities as duration and abundance of flowering is of special topicality. The article characterizes some representatives of two genera in the family *Rosaceae* family (*Pentaphylloides* Duham. and *Spiraea* L.) cultivated for many years in the Ufa Botanical Garden. Information about these taxa includes brief morphological characteristics, size of the shrubs at a certain age, duration of vegetation periods, beginning and duration of flowering, degree of frost hardiness, and resistance to diseases and pests. The use of these species and varieties in gardening will contribute to the creation of stylish landscape compositions and make it possible to considerably extend their blooming seasons.

Key words: *Pentaphylloides* Duham., *Spiraea* L., duration of flowering, frost hardiness.

УДК 581.6

**ОНТОГЕНЕЗ *DIANTHUS SEGUIERI* VILL. В УСЛОВИЯХ  
БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

© Л.Х. Узьянбаева, Л.Н. Миронова

Освещены результаты интродукционного изучения *Dianthus seguieri* Vill. (гвоздика кавказская) на базе Ботанического сада-института Уфимского научного центра Российской академии наук. Естественный ареал произрастания этого вида – травянистые холмы и луга, известняки на северо-востоке Испании, Франции, Чехии, Словакии, Италии. Эндем. *D. seguieri* представляет собой многолетнее поликарпическое зимнезеленое травянистое растение, хамефит. Приведены данные по онтогенезу гвоздики за три года наблюдений (2013–2015 гг.). Описаны три возрастных периода (латентный, прегенеративный и генеративный) и 6 онтогенетических состояний (проростки, ювенильное, имматурное, виргинильное, молодое и средневозрастное генеративные состояния). Показано, что для вида характерен надземный тип прорастания семян. Индикаторными признаками возрастных состояний являются: для проростков – наличие тонкого зародышевого корешка, двух обратнойцевидных семядолей (длительность состояния проростков – 10–15 суток). Для ювенильных особей – появление первых настоящих листьев (в этом возрастном состоянии сеянцы находятся 36–45 суток). Для имматурных особей – начало бокового ветвления побегов, развивающихся из пазушных почек настоящих и семядольных листьев, разрастание корневой системы (ветвление боковых корней достигает 2–3 порядка). Продолжительность имматурного состояния составляет 55–75 суток. В виргинильном состоянии растения приобретают черты взрослых особей, на побегах 1-го порядка развиваются побеги 2-го порядка. Продолжительность виргинильного состояния перед уходом растений в зиму составляет 54–94 суток. У большинства особей генеративный период наступает на втором году жизни. У молодых генеративных растений появляются немногочисленные репродуктивные побеги. Фаза бутонизации наблюдалась в конце мая, цветение – во второй декаде июня, продолжительностью 80–90 суток. На третьем году жизни растения переходят в средневозрастное генеративное состояние. Оно характеризуется наиболее мощно развитой вегетативной и репродуктивной сферами. Фаза бутонизации в этом возрастном состоянии отмечалась в первой декаде июня, цветение – в третьей декаде июня, продолжительность цветения – 100–110 суток.

Ключевые слова: *Dianthus seguieri*, онтогенез, латентный период, прегенеративный период, генеративный период, возрастные состояния.

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 [1, 2].

При введении видов природной флоры в культуру необходимо учитывать длительность их жизни, продолжительность и особенности отдельных возрастных состояний. Исследование онтогенеза растений позво-

ляет выяснить уровень их приспособительных возможностей, устойчивости и продолжительности существования в культуре.

Определенный интерес в этом плане представляет дикорастущий вид *Dianthus seguieri* Vill. (гвоздика кавказская), который весьма декоративен, отличается продолжительным периодом цветения и достаточно легко приспосабливается к новым условиям произрастания. Изучен недостаточно, что препятствует его распространению в куль-

УЗЯНБАЕВА Ляйсан Хамзаевна, Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: lyuzyanbaeva@yandex.ru

МИРОНОВА Людмила Николаевна – к.с.-х.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: flowers-ufa@yandex.ru

туре [3, 4]. В этой связи актуально исследование биологических особенностей гвоздики кавказской в условиях Южного Урала.

Цель настоящей работы – изучение онтогенеза *D. seguieri* при интродукции в лесостепную зону Башкирского Предуралья.

**Материалы и методы.** Полевые и лабораторные исследования проводили на базе Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН в 2003–2015 гг., онтогенез гвоздики изучался с 2013 года.

Территория Ботанического сада расположена в лесостепи на границе правобережья и левобережья Предуралья. В климатическом отношении район расположения Ботанического сада (г. 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 плюс 2.6°C. Среднемесячная температура воздуха зимних месяцев колеблется в пределах от минус 12 до минус 16.6°C, абсолютный минимум минус 42°C. Зимой иногда наблюдаются оттепели. Лето жаркое и сухое, среднемесячная температура воздуха колеблется от плюс 17.1 до плюс 19.4°C.

Среднемесячное количество осадков в летние месяцы изменяется в пределах от 54 до 69 мм, среднегодовое количество осадков – 580 мм. Весной и в начале лета часто дуют сухие юго-западные ветры, которые в сочетании с небольшим количеством осадков (28–42 мм) создают неблагоприятные условия для первоначального роста и развития растений. Безморозный период продолжается в среднем 144 дня.

По многолетним данным Уфимской метеостанции наступление осенних заморозков в среднем наблюдается 28 сентября (самый ранний срок – 1 сентября, поздний – 22 октября), а окончание весенних заморозков – 6 мая (самый ранний срок – 11 апреля, поздний – 2 июня). Основные типы почв – серые и темно-серые лесные [5, 6].

Объектом исследования является *D. seguieri* – многолетнее поликарпическое

зимнезеленое травянистое растение, хамефит. Произрастает по травянистым холмам и лугам, на известняках на северо-востоке Испании, Франции, Чехии, Словакии, на севере Италии. Эндем [7, 8].

Опытные растения были выращены из семян, полученных по Делектусу из Германии (2003).

При изучении онтогенеза проводился сравнительный морфологический анализ в соответствии с разработками А.А. Уранова [9].

**Результаты и обсуждение.** В онтогенезе гвоздики кавказской за три года (2013–2015 гг.) наблюдений описаны три возрастных периода: латентный, прегенеративный (проростки, ювенильное, имматурное и виргинильное состояния) и генеративный (молодое и средневозрастное генеративные состояния) [10, 11]. Для этого 30 апреля 2013 г. семена собственной репродукции, сбора 2012 г., высевали в открытый грунт.

**Латентный период.** Плод – лизикарпная многосемянная вскрывающаяся 4 зубчиками коробочка. Семена гвоздики кавказской щитовидной формы, плоские, поперечно-морщинистые, черного цвета. Длина семени 2.60 мм, ширина 1.85 мм. Масса 1000 семян составляет 1.08 г. Менее 15% семян не имеют периода покоя, остальные характеризуются неглубоким физиологическим покоем. Прорастают на 12–13-е сутки после посева (рис.).

**Прегенеративный период. Проросток (pl).** Для вида характерен надземный тип прорастания семян. Семядоли выносятся гипокотилем над поверхностью почвы, семенная кожура соскальзывает и остается в почве. Фаза семядолей наступает через 4–6 суток после появления всходов. Проростки имеют два семядольных листа овальной формы на небольшом черешке, зеленые, гладкие, длиной 6–8 мм и шириной 4–5 мм. Зародышевый корешок длиной до 1.0 см, густо покрыт корневыми волосками. Состояние проростков длится 10–15 суток.

**Ювенильное возрастное состояние (j).** Особи этого возрастного состояния формируют 3–4 пары настоящих листьев

ювенильного типа. Длина листовой пластинки до 15.0 мм, ширина до 1.5 мм. Корень слабо разветвленный, длиной 2.5–4.0 см. В ювенильном состоянии сеянцы находятся 36–45 суток.

**Имматурное возрастное состояние (im).** Имматурное состояние характеризуется началом бокового ветвления побегов, развивающихся из пазушных почек настоящих и семядольных листьев. Сильно разрастается корневая система. Ветвление боковых корней достигает 2–3 порядка, длина главного корня 5.0–7.0 см. Увеличиваются размеры листа: длина от 2.0 до 3.0 см, ширина от 1.5 до 2.0 мм. Продолжительность имматурного состояния 55–75 суток.

**Виргинильное возрастное состояние (v).** При переходе в виргинильное состояние растение приобретает черты взрослых осо-

бей. Оно представляет собой кустик высотой 8.0–9.0 см. На 3–5 побегах 1-го порядка, расположенных в нижней части центрального побега, в пазухах листьев развиваются 2–4 побега второго порядка. Длина листовой пластинки достигает 5.0 см, ширина – 4.0–5.0 мм. Корень стержневой, по его длине расположены значительно более слабые корни первого и второго порядков. Главный корень достигает длины 15 см, его базальная часть утолщается до 4 мм. Продолжительность виргинильного состояния перед уходом растений в зиму составляет 54–94 суток. Зимуют растения зелеными.

**Генеративный период. Молодое генеративное состояние (g<sub>1</sub>).** На первом году жизни только 10% особей *D. seguieri* вступают в молодое генеративное состояние (вторая декада октября 2013 г.). Эти растения ушли под зиму в фазе бутонизации.

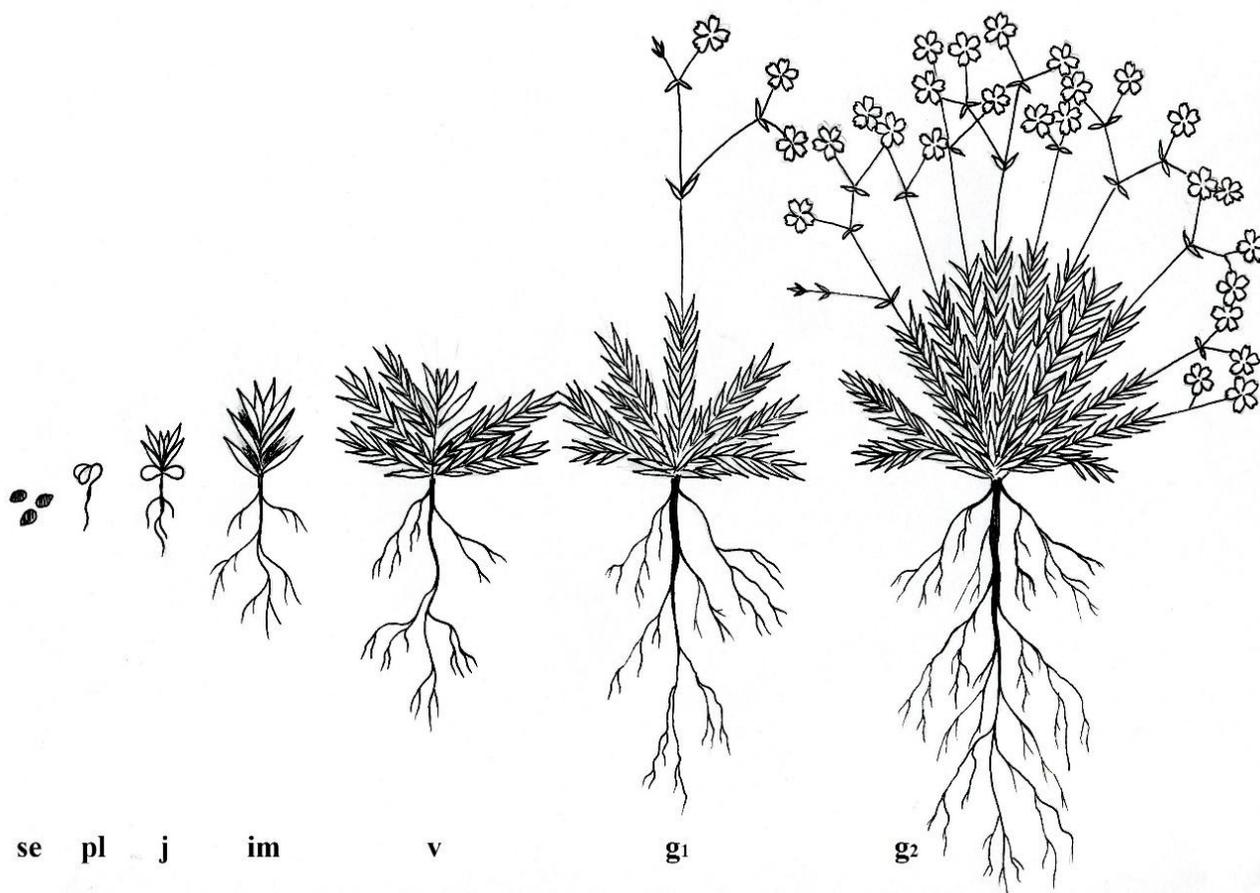


Рис. Неполный онтогенез *Dianthus seguieri*: **se** – семена, **pl** – проростки, **j** – ювенильное состояние, **im** – имматурное состояние, **v** – виргинильное состояние, **g<sub>1</sub>** – молодое генеративное состояние, **g<sub>2</sub>** – средневозрастное генеративное состояние

У большинства особей генеративный период наступает на втором году жизни. В 2014 г. отрастание *D. seguieri* отмечалось во второй декаде апреля. Бутонизация наблюдалась в конце мая. Цветение – во второй декаде июня, продолжительность 80–90 суток. Молодые генеративные особи развивают 1–6 генеративных побега длиной 23.0–25.0 см. Побеги прямые, голые, в верхней части разветвленные. Листья линейные, заостренные, длиной 5.0–6.0 см, шириной 4.0–5.0 см, зеленые. Цветки 1.7–3.5 см в диаметре. Четыре прицветные чешуи кожистые, обратнойцевидные, темно-бурые, резко суженные, 4.0–6.0 мм длиной, прикрывающие половину чашечки. Чашечка 20.0–23.0 мм длиной, 4.0 мм в диаметре, цилиндрическая, с заостренными зубцами, до середины пурпурно-окрашенная. Пластика лепестков красновато-розовая, сверху с редкими волосками, по краю острозубчатая. Корень стержневой, длиной до 35 см. Зимуют с розетками зеленых листьев.

**Средневозрастное генеративное состояние ( $g_2$ ).** На третьем году жизни (2015 г.) растения перешли в средневозрастное генеративное состояние. В 2015 г. отрастание *D. seguieri* наблюдалось во второй декаде апреля. Бутонизация отмечалась в первой декаде июня, цветение – в третьей декаде июня, продолжительность цветения составила 100–110 суток. Особи развивают до 50 генеративных побегов длиной до 35 см, в верхней части разветвленных, при основании – с многочисленными укороченными вегетативными побегами. Количество цветков на генеративном побеге может достигать 15–17 шт. Вегетативные побеги прямостоячие или приподнимающиеся, густо облиственные.

Средневозрастное генеративное состояние, по данным Н.В. Усмановой [7], продолжается 2–3 года. У старых генеративных особей отмирание надземных побегов преобладает над их новообразованием. Число репродуктивных побегов меньше, чем у средневозрастных.

**Заключение.** На основе интродукционного изучения *Dianthus seguieri* Vill. на базе Ботанического сада-института Уфим-

ского научного центра РАН показано, что в онтогенезе данного вида индикаторными признаками возрастных состояний являются: для проростков – наличие тонкого зародышевого корешка, двух обратнойцевидных семядолей; для ювенильных особей – появление первых настоящих листьев; для иматурных особей – начало бокового ветвления побегов, развивающихся из пазушных почек настоящих и семядольных листьев, разрастание корневой системы (ветвление боковых корней достигает 2–3 порядка). В виргинильном состоянии растение приобретает черты взрослых особей, на побегах 1-го порядка развиваются побеги 2-го порядка. У молодых генеративных особей появляются немногочисленные репродуктивные побеги. Средневозрастное генеративное состояние характеризуется наиболее мощно развитой вегетативной и репродуктивной сферами.

Таким образом, за три года наблюдений гвоздика кавказская в условиях Башкирского Предуралья проходит следующие возрастные периоды: латентный, прегенеративный (проростки, ювенильное, иматурное и виргинильное состояния) и генеративный (молодое и средневозрастное генеративные состояния). Цветение наступает на втором году жизни растений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Galbally J., Galbally E. Carnations and pinks for garden and greenhouse // Timber Press, Portland, Oregon, USA. 1997. 310 p.
2. Федорончук М.М., Чорней І.І. Род *Dianthus* L. (*Caryophyllaceae* Juss.) флори України: таксономічний і соціологічний аналіз // Заповідна справа в Україні. 2005. Т. 11, вип. 2. С. 9–18.
3. Миронова Л.Н. Итоги интродукции декоративных травянистых многолетников в ботаническом саду города Уфы // Научные ведомости БелГУ. 2011. Т.14, № 3–1 (98). С. 128–133.
4. Миронова Л.Н., Реут А.А., Шипаева Г.В. Ассортимент декоративных травянистых растений для озеленения населенных пунктов Республики Башкортостан. Уфа: Гилем, 2013. 92 с.
5. Башкирский ботанический сад: история, коллекция, научные достижения (к 70-летию образования). Уфа: Информреклама, 2002. 128 с.

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

7. Усманова Н.В. Индивидуальное развитие *Dianthus seguieri* Vill. при интродукции // Промышленная ботаника. 2010. Вып. 10. С. 178–182.

8. Усманова Н.В. Итоги интродукции *Dianthus deltoides* L. на юго-востоке Украины // Бюл. Ботан. сада-института ДВО РАН. 2013. Вып. 10. С. 19–26.

9. Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–34.

10. Назаренко А.С., Рыжова Д.В. Сезонное развитие и начальные этапы онтогенеза *Dianthus andrzejowskianus* (Zapał.) Kulcz. при интродукции // Промышленная ботаника. 2011. Вып. 11. С. 224–229.

11. Горшкова А.Л., Ведерникова О.П. Онтогенез гвоздики травянки (*Dianthus deltoides* L.) // Онтогенетический атлас растений. 2011. Т. 6. С. 204–211.

#### References

1. Galbally J., Galbally E. Carnations and pinks for garden and greenhouse // Timber Press, Portland, Oregon, USA. 1997. 310 p.

2. Fedoronchuk M.M., Chorney I.I. The genus *Dianthus* L. (Caryophyllaceae Juss.) in the flora of Ukraine: Taxonomical and zoological analysis, Zapovidna sprava v Ukraini, 2005, vol. 11, no. 2, pp. 9–18.

3. Mironova L.N. Results of introducing ornamental herbaceous perennials in the Botanical Garden of Ufa. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta, 2011, vol.14, no. 3–1(98), pp. 128–133.

4. Mironova L.N., Reut A.A., Shipaeva G.V. Assortment of ornamental grasses for gardening the settlements of the Republic of Bashkortostan. Ufa: Gilem, 2013. 92 p.

5. Bashkir botanical garden: History, collection, scientific achievements. Z.H. Shigapov (ed.). Ufa, Inforek, 2002. 128 p.

6. Plant catalogue of the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Centre, RAS. V.P. Putenikhin (ed.). Ufa, Gilem, 2012. 224 p.

7. Usmanova N.V. Individual development of *Dianthus seguieri* Vill. under introduction. Promyshlennaya botanika, 2010, no. 10, pp. 178–182.

8. Usmanova N.V. Results of introducing *Dianthus deltoides* L. in south-eastern Ukraine. Byulleten Botanicheskogo sada-institutu DVO RAN, 2013, no. 10, pp. 19–26.

9. Uranov A.A. Age range of phyto-coenotic populations as a function of time and wave energy processes. Biologicheskie nauki, 1975, no. 2, pp. 7–34.

10. Nazarenko A.S., Ryzhova D.V. Seasonal development and initial stages of ontogenesis of *Dianthus andrzejowskianus* (Zapał.) Kulcz. under introduction. Promyshlennaya botanika, 2011, no. 1, pp. 224–229.

11. Gorshkova A.L., Vedernikova O.P. Ontogeny of meadow pink (*Dianthus deltoides* L.). Ontogeneticheskiy atlas rasteniy, 2011, vol. 6, pp. 204–211.

### ONTOGENY OF *DIANTHUS SEGUIERI* VILL. IN THE BASHKIR CIS-URALS

© L.Kh. Uzyanbaeva, L.N. Mironova

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

The article is devoted to the results in studying the introduction of *D. seguieri* Vill. performed in the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences. The natural habitat of this species includes grassy hills and meadows as well as limestones in north-eastern Spain, France, Czech Republic, Slovakia and Italy. The endemic species *D. seguieri* represents a perennial herbaceous polycarpic wintergreen chamaephyte. The data are given on the ontogeny of plants during the 3-year observation interval (2013 to 2015). The article describes three age periods (latent, pre-generative and generative) and six age states (seedling, juvenile, immature, virginile, young and middle-aged generative states). It is shown that the species is characterized by the above-ground type of seed germination. The seedling state (26–30 days) is characterized by the presence of a thin embryonic root and two obovate cotyledons. The juvenile state (36–45 days) is characterized by the emergence of the first true leaves. The immature state (55–75 days) is characterized by the emergence of lateral shoots of the first order and the development of the root system up to the second or third order. The plants in the virginile state acquire the traits of adult individuals, with shoots of the second order developed on those of the first order. The duration of the virginile phase prior to winter dormancy comprises 54–94 days. The generative period of the majority of individuals begins in the second year of life. Young generative individuals have got few reproductive shoots. Budding is observed late in May, and flowering in the second decade of June. The duration comprises 80–90 days. In the third year of life, plants shift into the middle-aged generative state characterized by a strong development of vegetative and generative organs.

The budding phase in this age state occurs early in June, flowering begins late in June. The duration of flowering comprises 100–110 days.

Key words: *Dianthus seguieri* Vill., ontogeny, latent period, pre-generative period, generative period, age state.

УДК 615.9

**ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОПРЕПАРАТА  
ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ НЕФТИ**

© Т.Ю. Коршунова, О.Н. Логинов

Дана токсикологическая оценка биопрепарата «Ленойл»®<sup>®</sup>, СХП (титр  $1 \times 10^8$  КОЕ/г), разработанного в УИБ РАН и предназначенного для очистки почв, грунтов и водных поверхностей от нефтяного загрязнения. В процессе экспериментальных исследований, проведенных в соответствии с действующей нормативной документацией, были определены следующие параметры опасности биопрепарата для здоровья человека: острая токсичность и класс опасности при внутрижелудочном поступлении; ингаляционная токсичность в статических условиях при насыщающих концентрациях; влияние на слизистые оболочки глаз; раздражающее действие на кожу, кожно-резорбтивное, кумулятивное и сенсибилизирующее действие. На основании полученных данных установлено, что среднесмертельная однократная доза ( $DL_{50}$ ) биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®<sup>®</sup>, СХП при внутрижелудочном поступлении составила более 6.4 г/кг, что позволяет отнести его к 4 классу опасности (вещество малоопасное). Биопрепарат не обладает кожно-резорбтивным действием, а также раздражающим действием на кожные покровы и дыхательные пути, но способен оказывать слабое раздражающее действие на слизистые оболочки глаз. Кумулятивные свойства не выражены, однако изменение некоторых показателей интоксикации (поведенческие реакции, признаки лейкоцитоза, пониженная активность сульфгидрильных групп в сыворотке крови, увеличение коэффициентов массы печени) свидетельствует о реальной возможности развития хронического отравления при длительном поступлении в организм указанного продукта. Результаты токсикологических исследований свидетельствуют, что биопрепарат-нефтедеструктор «Ленойл»®<sup>®</sup>, СХП может применяться по назначению, т.е. для разложения нефти и нефтепродуктов в ходе рекультивации загрязненных нефтью объектов при соблюдении персоналом санитарно-гигиенических норм при его производстве и использовании.

Ключевые слова: биопрепарат-нефтедеструктор «Ленойл»®<sup>®</sup>, СХП, класс опасности, кожно-резорбтивное, раздражающее действие, кумулятивный эффект.

Биопрепарат-нефтедеструктор «Ленойл»®<sup>®</sup>, СХП (титр  $1 \times 10^8$  КОЕ/г) предназначен для биологической обработки нефтезагрязненных почв, грунтов, водных поверхностей с целью ускорения биоразложения нефти и нефтепродуктов [1, 2] и представляет собой сухой порошок (СХП) от светло-кремового до коричневого цвета со специфическим, свойственным микробному препарату запахом. Его основу составляет консорциум штаммов микроорганизмов *Acinetobacter calcoaceticus* ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum intermedium* ИБ ДТ-5.3/2, обладающий окислительной и нитрогеназной активностью [3]. Указанный консорциум

выделен из серой лесной почвы с территории Республики Башкортостан, загрязненной дизельным топливом. Образующие его штаммы депонированы во Всероссийской коллекции микроорганизмов (VKM В-2753D и VKM В-2754D соответственно) и хранятся в Коллекции микроорганизмов УИБ РАН.

Целью работы является токсикологическая оценка биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®<sup>®</sup>, СХП.

В процессе экспериментальных исследований были определены следующие параметры токсичности биопрепарата: острая токсичность и класс опасности при

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

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

внутрижелудочном поступлении; ингаляционная токсичность в статических условиях при насыщающих концентрациях; влияние на слизистые оболочки глаз; раздражающее действие на кожу, кожно-резорбтивное, кумулятивное и сенсибилизирующее действие. Токсикологическая оценка образца биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®, СХП проведена в соответствии с действующей нормативной документацией [4–7].

При однократном введении в желудок белых крыс биопрепарата в виде водной взвеси в максимальной дозе до 6.4 г/кг внешних признаков интоксикации не отмечено. В последующий стандартный срок наблюдения (2 недели) летальных исходов не установлено.

При однократной двухчасовой статической ингаляционной заправке в условиях насыщающих концентраций биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®, СХП у белых мышей признаков раздражения дыхательных путей и интоксикации не наблюдалось. Случаев гибели животных на протяжении двухнедельного периода наблюдения не зарегистрировано.

Установлено, что биопрепарат-нефтедеструктор «Ленойл»®, СХП обладает раздражающим действием на слизистые оболочки глаз при однократном контакте. Так, в первые часы после нанесения на конъюнктиву глаз белых крыс по 1 капле водной суспензии биопрепарата отмечался быстрый спазм глазной щели, слезотечение и гиперемия слизистых оболочек глаз. Указанные явления проходили через 24 ч после нанесения.

Показано отсутствие признаков раздражения кожи после однократной экспозиции хвостов крыс в водной суспензии биопрепарата. После повторных аппликаций (ежедневно, по 4 ч в течение 2 недель) заметного раздражающего действия не отмечено.

Оценка кожно-резорбтивного действия проводилась в течение 1 месяца на белых крысах, хвосты которых размещались в водной взвеси биопрепарата на 4 ч еже-

дневно. Показатели кожно-резорбтивного действия и их динамика в ходе эксперимента в контрольной и опытной группе животных представлены в табл. 1.

В ходе эксперимента у животных опытной и контрольной групп активность и подвижность не отличались. Признаков интоксикации и летальных исходов в ходе эксперимента не наблюдалось. Статистически достоверной разницы в гематологических и биохимических показателях крови как в опытной, так и в контрольной группах не зафиксировано. При патоморфологическом исследовании внутренних органов патологических изменений не обнаружено (см. табл. 1).

Оценка кумулятивных свойств биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®, СХП проведена на беспородных белых крысах при ежедневном введении в течение 1 месяца в желудок 33% водной взвеси в дозе 1.0 г/кг массы тела. Показатели кумулятивных свойств и их динамика в ходе эксперимента в контрольной и опытной группах животных представлены в табл. 2, из которой видно, что у крыс, получавших биопрепарат, отмечено статистически достоверное увеличение содержания в крови лейкоцитов и снижение активности сульфгидрильных групп в сыворотке крови. Одновременно у опытных животных обнаружены изменения в поведенческих реакциях (уменьшение активности и подвижности). При вскрытии выявлено увеличение коэффициентов относительной массы печени, что свидетельствует о развитии отека. Гибель животных не отмечена. Указанные изменения свидетельствуют о реальной возможности развития хронического отравления при длительном поступлении в организм биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®, СХП.

При исследовании сенсибилизирующей активности биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®, СХП в эксперименте на белых крысах формирования гиперчувствительности замедленного типа (ГЗТ), обусловленной клетками-эффекторами ГЗТ, не выявлено.

На основании полученных данных установлено, что среднесмертельная однократная доза (ДЛ<sub>50</sub>) биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®, СХП при внутрижелудочном поступлении составила более 6.4 г/кг. По существующей классификации ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Общие требования безопасности» биопрепарат-нефтедеструктор «Ленойл»®, СХП относится к 4 классу опасности (вещество малоопасное). Биопрепарат не обладает кожно-резорбтивным действием, а также раздражающим действием на кожные покровы и дыхательные пути, но способен оказывать слабое раздражающее действие на слизистые оболочки глаз. Кумулятивные свойства не выражены, однако изменение некоторых показателей интоксикации (функциональные сдвиги в центральной нервной системе (поведенческие реакции), признаки лейкоцитоза, пониженная актив-

ность сульфгидрильных групп в сыворотке крови, увеличение коэффициентов массы печени) свидетельствует о реальной возможности развития хронического отравления при длительном поступлении в организм указанного продукта. Результаты токсикологических исследований дают основание заключить, что биопрепарат-нефтедеструктор «Ленойл»®, СХП может использоваться по назначению, т.е. для ускорения разложения нефти и нефтепродуктов в ходе рекультивации загрязненных нефтью объектов при соблюдении персоналом санитарно-гигиенических норм.

Данные, использованные в статье, получены в результате исследований, проведенных на хозяйственно-договорной основе в Федеральном бюджетном учреждении здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Башкортостан».

Т а б л и ц а 1

*Показатели кожно-резорбтивного действия биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®, СХП*

Показатели	Единица измерения	Контроль	Опыт	P
<b>Физиологические показатели</b>				
Масса тела:				
фон	грамм	189.2±5.3	185.8±6.2	>0.05
контроль		215.8±7.1	221.7±5.4	>0.05
Поведенческие реакции:				
– вертикальная подвижность	усл.ед.	3.5±0.7	2.7±0.2	>0.05
– горизонтальная подвижность		6.8±0.7	5.3±0.7	>0.05
– «норковый рефлекс»		8.8±0.9	7.3±0.7	>0.05
– суммарная подвижность		19.3±1.9	14.3±1.6	<0.05
<b>Гематологические показатели</b>				
Эритроциты	млн/мл	9.74±0.16	9.63±0.18	>0.05
Гемоглобин	г/л	159.6±5.9	170.7±8.4	>0.05
Лейкоциты	п·10 <sup>9</sup> /л	5.9±0.4	7.0±0.3	>0.05
<b>Биохимические показатели сыворотки крови</b>				
АЛТ	ммоль/ч.л	4.5±0.6	4.7±0.3	>0.05
SH-группы	мкмоль/100мл	46.6±1.4	47.1±1.2	>0.05
<b>Морфологические показатели (коэффициенты массы внутренних органов)</b>				
Печень	относит. ед.	34.0±0.9	32.4±0.9	>0.05
Почки	относит. ед.	5.8±0.1	6.0±0.2	>0.05
Селезенка	относит. ед.	3.5±0.3	3.7±0.4	>0.05
Сердце	относит. ед.	3.4±0.1	3.2±0.1	>0.05
Легкие	относит. ед.	6.7±0.3	7.1±0.2	>0.05

Показатели кумулятивных свойств биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»®, СХП

Показатели	Единица измерения	Контроль	Опыт	P
<b>Физиологические показатели</b>				
Масса тела: фон	грамм	176.7±3.5	178.3±3.5	>0.05
контроль		230.8±6.2	215.8±4.4	>0.05
Поведенческие реакции:	усл.ед.			
– вертикальная подвижность		1.2±0.2	1.0±0.2	>0.05
– горизонтальная подвижность		7.5±1.2	3.0±0.5	<0.05
– «норковый рефлекс»		7.8±0.9	5.8±0.4	>0.05
– суммарная подвижность		17.0±2.1	9.5±1.2	<0.05
<b>Гематологические показатели</b>				
Эритроциты	млн/мл	10.13±0.06	10.22±0.03	>0.05
Гемоглобин	г/л	142.7±3.9	147.0±1.9	>0.05
Лейкоциты	п·10 <sup>9</sup> /л	6.2±0.3	7.8±0.3	<0.05
<b>Биохимические показатели сыворотки крови</b>				
АЛТ	ммоль/ч.л	4.70±0.27	4.97±0.26	>0.05
SH-группы	мкмоль/100мл	47.6±1.4	42.9±1.2	<0.05
<b>Морфологические показатели (коэффициенты массы внутренних органов)</b>				
Печень	относит. ед.	31.1±0.6	33.8±0.4	<0.05
Почки	относит. ед.	6.1±0.2	6.7±0.4	>0.05
Селезенка	относит. ед.	3.8±0.4	4.2±0.4	>0.05
Сердце	относит. ед.	3.5±0.1	3.7±0.2	>0.05
Легкие	относит. ед.	6.8±0.3	6.8±0.7	>0.05

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кобызева Н.В., Коршунова Т.Ю., Силищев Н.Н., Логинов О.Н. Использование биопрепарата «Ленойл» для локальной очистки производственных сточных вод, загрязненных углеводородами и их производными // Вестник Оренбургского государственного университета. 2007. Вып. 75. С. 161–163.

2. Коршунова Т.Ю., Четвериков С.П., Логинов О.Н. Перспективы использования консорциума углеводородокисляющих микроорганизмов для очистки нефтезагрязненной почвы Крайнего Севера // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 1. С. 88–94.

3. Логинов О.Н., Султанов И.М., Четвериков С.П., Давлетшин Т.К., Коршунова Т.Ю., Столярова Е.А., Мухаматдырова С.Р., Кобызева Н.В. Консорциум штаммов микроорганизмов *Acinetobacter* sp. и *Ochrobactrum* sp., используемый для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов: пат. РФ № 2553540. Заявл. 29.11.2012; опубл. 20.06.2015. Бюл. № 17.

4. Показатели токсикометрии, подлежащие определению на разных стадиях производства и применения химических веществ: методические указания. № 4230-86 от 25.12.1986 г.

5. Методические указания к постановке исследований для обоснования санитарных стандартов вредных веществ в воздухе рабочей зоны. № 2163-80 от 04.04.1980 г.

6. Методические указания по оценке воздействия вредных химических соединений на кожные покровы и обоснование предельно допустимых уровней загрязнения кожи. № 2102-79 от 01.11.1979 г.

7. Требования к постановке экспериментальных исследований по обоснованию ПДК промышленных химических аллергенов в воздухе рабочей зоны и атмосферы: методические указания. № 1.1.578-96 от 21.10.1996 г.

### References

1. Kobyzeva N.V., Korshunova T.Yu., Silishchev N.N., Loginov O.N. Use of biological product “Lenoil” for local treatment of industrial wastewaters polluted by hydrocarbons and their derivatives. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 2007, no. 75 (October), pp. 161–163.

2. Korshunova T.Yu., Chetverikov S.P., Loginov O.N. Prospects for using hydrocarbon-oxidizing bacterial consortium to treat oil-polluted soil of the Far North. Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya, 2016, no. 1, pp. 88–94.

3. Loginov O.N., Sultanov I.M., Chetverikov S.P., Davletshin T.K., Korshunova T.Yu., Stolyarova E.A., Mukhamatdyarova S.R., Kobzyeva N.V. Consortium of bacterial strains *Acinetobacter* sp. and *Ochrobactrum* sp. used for cleaning water and soil from oil and its products. Patent RF, no. 2553540. Applied November 29, 2012; published June 20, 2015. Bull. No. 17.

4. Toxicity indices to be determined at different stages of chemical substance production and use. No. 4230-86, December 25, 1986.

5. Methodical guidelines for carrying out research to validate sanitary standards on hazardous

substances in work zone air. No. 2163-80, April 4, 1980.

6. Methodical guidelines for assessing the impact of hazardous chemical compounds on skin and validation of skin contamination cut-off levels. No. 2102-79, November 1, 1979.

7. Methodical guidelines "Requirements for carrying out experimental research to validate cut-off concentrations of industrial chemical allergens in work zone and ambient air. No. 1.1.578-96, October 21, 1996.



## TOXICOLOGICAL RESEARCH ON THE BIOLOGICAL OIL-DESTRUCTOR

© T.Yu. Korshunova, O.N. Loginov

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

This paper discusses the outcomes of toxicological research on the biological product "Lenoil"® – SHP developed by the Ufa Institute of Biology of the Russian Academy of Sciences and intended for cleaning soil and water surfaces from oil contamination. During the experimental studies carried out in accordance with current regulatory documents the following health risks were evaluated: acute toxicity and hazard class in intragastric admission; inhalation toxicity under static conditions at saturating concentrations; impact on mucous membranes of the eye; skin irritating, resorptive, cumulative and sensitizing effects. As a result, it was found out that in intragastric admission a median lethal single dose (DL<sub>50</sub>) of the biological oil-destructor "Lenoil"® – SHP exceeded 6.4 g/kg allowing it to be assigned to hazard class 4 (low hazard substances). The biological product has no skin-resorptive effect and does not irritate the skin and the respiratory tract, yet it is able to act like a slight irritant to the mucous membranes of the eye. Cumulative properties are not expressed; however, some alterations in toxicity indices (behavioral responses, signs of leukocytosis, decreased activity of the sulfhydryl groups in blood serum, increased liver weight coefficients) attest to the real possibility of chronic poisoning associated with prolonged intake of this product into the human body. The results of the toxicological research testify that the biological oil destructor "Lenoil"® – SHP can be used for its intended purpose, i.e. to decompose oil and its products during the remediation of oil-contaminated sites in compliance with personnel health and hygiene standards.

Key words: biological oil-destructor "Lenoil"® – SHP, hazard class, skin-resorptive, irritating and cumulative effects.

УДК 579.222.2; 574.23

**ХИТИНОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И АНТАГОНИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
БАКТЕРИЙ-ДЕСТРУКТОРОВ ХЛОРФЕНОКСИУКСУСНЫХ КИСЛОТ****© Г.Э. Актуганов, Н.Ф. Галимзянова, Н.В. Жарикова, Е.Ю. Журенко,  
В.В. Коробов, Т.Р. Ясаков, Т.В. Маркушева**

Изучена хитинолитическая активность 17 штаммов бактерий различных таксономических групп, выделенных ранее из загрязненных грунтов промзоны ОАО «Уфахимпром», способных осуществлять деградацию хлорфеноксиуксусных кислот и других хлорированных соединений ароматического ряда. Более половины (9) изученных штаммов были способны гидролизовать хитин, и лишь четверть (4) штаммов гидролизовали хитозан. Хитинолитическая активность была выявлена в основном у бактерий, известных своей способностью к продукции хитиназ, включая представителей родов *Bacillus* и *Pseudomonas*, а также *Serratia marcescens* и *Stenotrophomonas maltophilia*. Наибольшие значения хитиназной активности были отмечены у штаммов *B. subtilis* IBRB-16 и *S. marcescens* 22S. Не выявлено прямой зависимости между хитинолитической активностью бактерий-деструкторов и проявлением у них антагонистических свойств. Менее четверти всех штаммов были способны подавлять рост фитопатогенного гриба *Bipolaris sorokiniana* и большинство из них составляли бациллы. Наибольший интерес в качестве потенциально новых объектов среди бактерий-антагонистов представляют штаммы *B. methylotrophicus* IBRB-25S и *Rhodococcus erythropolis* 17S.

Ключевые слова: бактерии-деструкторы, 2,4-Д, ХФУК, хитинолитические ферменты, антагонизм, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Cellulosimicrobium*, *S. marcescens*, *S. maltophilia*.

Микробное разнообразие природных экосистем, испытывающих длительное антропогенное воздействие, является важным показателем в оценке степени их загрязненности различными ксенобиотиками [1]. Существенное значение для подобной оценки имеет сравнительная характеристика степени устойчивости местных популяций микроорганизмов к загрязнению и их способности выступать в качестве деструкторов токсических соединений. Использование естественного потенциала микроорганизмов, составляющих микробиоту сильно загрязненных грунтов промышленных территорий, в деградации ксенобиотиков может быть одним из инструментов в разработке эффективных технологий, направленных на преодоление последствий

многолетнего загрязнения окружающей среды высокотоксичными продуктами и отходами производства гербицидов – фенолом, 2,4-дихлорфенолом, хлорфеноксиуксусными кислотами (ХФУК) [2, 3]. При исследовании природных популяций микроорганизмов, способных разлагать подобные соединения, необходимым условием остается детальная характеристика их отдельных представителей. В фундаментальном аспекте это важно для выяснения специфических механизмов катаболизма хлорорганических соединений среди таксономически удаленных групп микроорганизмов, в т.ч. с точки зрения понимания ключевых путей биodeградации ксенобиотиков и степени участия в них различных деструкторов [4]. В конечном итоге выяснение особенностей биоконверсии ХФУК и

АКТУГАНОВ Глеб Эдуардович – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: gleakt@anrb.ru  
ГАЛИМЗЯНОВА Наиля Фауатовна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: galnailya@yandex.ru  
ЖАРИКОВА Наталья Владимировна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
ЖУРЕНКО Евгения Юрьевна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
КОРОБОВ Владислав Викторович – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
ЯСАКОВ Тимур Рамилевич – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: iasakov@anrb.ru  
МАРКУШЕВА Татьяна Вячеславовна – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru

родственных соединений различных представителей бактерий-деструкторов необходимо для разработки основ новых биотехнологий, использующих эти бактерии, либо их консорциумы для безопасной очистки окружающей среды от промышленных экотоксикантов.

Важной характеристикой для оценки адаптационного потенциала микроорганизмов, использующих в качестве источника углерода токсические соединения типа ХФУК, является их способность к деградации важнейших природных субстратов, в т.ч. целлюлозы, гемицеллюлоз, хитина и др. Хитин занимает второе место среди полисахаридов после целлюлозы по распространенности в природе, и уровень его биодegradации в почвах напрямую коррелирует с богатством хитин-содержащей и хитин-деградирующей биоты, а также с активностью почвенных биохимических процессов в целом [5]. Возрастание хитинолитической активности местной микробиоты, как правило, способствует интенсификации других катаболических процессов, в т.ч. способствующих дальнейшему восстановлению и самоочистке почв, загрязненных ксенобиотиками. Антагонистическая, в т.ч. антигрибная активность почвенной микробиоты прямо не связана с ее хитин-деградирующей активностью, однако может служить фактором, дающим дополнительное преимущество в борьбе за субстрат среди хитинолитических микроорганизмов. Наличие такой активности у бактерий-деструкторов ХФУК и других ксенобиотиков характеризует уровень их конкурентоспособности в естественных и загрязненных экосистемах. В то же время бактерии, устойчивые к 2,4-Д и другим хлорфенолам, обладающие широким спектром антагонистической активности, перспективны в качестве агентов биоконтроля фитопатогенов культурных растений в условиях применения традиционных гербицидов.

Цель работы состояла в изучении хитин- и хитозан-деградирующей активности представителей филогенетически удаленных групп бактерий-деструкторов хлор-

феноксиуксусных кислот, а также в сравнительной оценке их антигрибной активности и устойчивости к антагонистическому действию бактерий, выделенных из естественных экосистем.

#### **Объекты и методы исследований.**

В качестве объектов исследований использовали штаммы бактерий из коллекции Уфимского института биологии РАН, способные утилизировать фенол и производные соединения группы ХФУК, в т.ч. 4-ХФУК, 2,4-Д и 2,4,5-Т. Бактерии были выделены из почвенных образцов, отобранных ранее на территории ОАО «Уфхимпром» – крупнейшего предприятия в России, производившего гербициды [6]. Идентификацию штаммов до вида проводили на основе анализа последовательности гена 16S рРНК с использованием универсальных праймеров. Бактерии поддерживали пересевами на агаризованных средах LB и МПА. Способность к деградации хитина оценивали на питательной среде следующего состава (г/л):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0.6;  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – 1.0;  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  – 0.5;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.2; пептон ферментативный – 2.0; дрожжевой экстракт – 1.0; кукурузный экстракт – 0.5; коллоидный хитин – 2.5; агар – 16.0, pH перед стерилизацией – 7.2–7.4. Бактерии засеивали уколом со штриха 24 ч культуры и инкубировали при 28°C в течение 12 сут. Активность штаммов оценивали по наличию и размеру зон просветления хитина в агаре вокруг колоний; относительную активность определяли как отношение диаметра зон лизиса хитина к диаметру бактериальных колоний. Количественно хитиназную активность отдельных культур оценивали при их выращивании в жидкой среде того же состава, за исключением агара и при концентрации коллоидного хитина 4 г/л. Ферментацию проводили в течение 96–120 ч при 30°C и 160 об/мин на шейкере-инкубаторе УВМТ-12-250. Хитинолитическую активность в культуральной среде измеряли в соответствии с ранее описанной процедурой [7]. Активность штаммов в отношении хитозана выявляли на питатель-

ной среде описанного выше состава, используя в качестве субстрата хитозан (5 г/л) вместо коллоидного хитина. Хитозан (степень деацетилирования ~ 85%, «Sigma-Aldrich», США) стерилизовали отдельно. Культивирование бактерий осуществляли от 8 до 10 сут при 28°C. Об активности судили по наличию зон просветления вокруг колоний на фоне среды. Коллоидный хитин готовили из крабового хитина («Биопрогресс», Россия) [7].

Антагонистическую активность культуры в отношении фитопатогенных грибов оценивали методом прямого антагонизма.

Бактерии засеивали уколом на поверхность картофельно-глюкозного агара (КГА), предварительно засеянного суспензией спор тестируемого гриба. Совместное культивирование осуществляли в течение 3–5 суток при 28°C, активность оценивали по наличию стерильных зон вокруг бактериальных колоний. В качестве тест-объектов использовали микромицеты из коллекции УИБ РАН. Эксперименты проводили в трехкратной повторности, статистическую обработку осуществляли с помощью программы ORIGIN SRO 7.0 (версия 7.0220 (B220), OriginLab Corp.).

Т а б л и ц а

Показатели деградации коллоидного хитина в агаризованной среде, а также хитозанолитическая и антагонистическая активность различных видов бактерий-деструкторов ХФУК

Штамм №	Деструкция хитина <sup>1</sup>	Относительная хитиназная активность <sup>2</sup>	Средняя скорость гидролиза хитина, мм/сут	Гидролиз хитозана и рост на среде с хитозаном <sup>1</sup>	Антигрибная активность <sup>3</sup>
<i>Bacillus megaterium</i> IBRB-12	–	–	–	–	–
<i>B. methylophilus</i> IBRB-25S	–	–	–	–	++
<i>Bacillus</i> sp. 33DCP (П) (кластер <i>B. cereus</i> )	+	1.05	0.5	–	–
<i>Bacillus</i> sp. 33Т (Б) (кластер <i>B. cereus</i> )	+++	1.37	2.3	+++	+
<i>B. subtilis</i> IBRB-16	++++	1.78	3.5	++	–
<i>B. subtilis</i> 19S	–	–	–	–	+
<i>B. subtilis</i> 21 SW	–	–	–	–	+
<i>Cellulosimicrobium</i> sp. 38D	+++	1.02	2.0	–	–
<i>Cellulosimicrobium</i> sp. 2Т	++	1.71	1.3	–	–
<i>Citrobacter</i> sp. 36-4CPA	–	–	–	–	–
<i>Enterobacter cloacae</i> 34 4CPA	–	–	–	–	–
<i>Gordonia alkanivorans</i> 5D	–	–	–	–	–
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 39D	+++	1.09	3.3	+++	–
<i>P. kilonensis</i> 34Т (П)	++++	1.13	3.8	++	–
<i>Serratia marcescens</i> 22S	++++	1.65	2.9	+	–
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> 33D	+++	1.59	3.0	+++	–
<i>Rhodococcus erythropolis</i> 17S	–	–	–	–	+

<sup>1</sup> Степень гидролиза коллоидного хитина и хитозана в агаре оценивали по диаметру зон просветления субстрата, формирующихся вокруг бактериальных колоний: (+) – 5–10 мм; (++) – 10–20 мм; (+++) – 20–30 мм; (++++) – более 30 мм; (–) – отсутствие активности.

<sup>2</sup> Относительная хитиназная активность представлена как отношение диаметра зон гидролиза хитина к диаметру образующих их бактериальных колоний.

<sup>3</sup> Представлены данные по подавлению *Bipolaris sorokiniana*: (+) – диаметр зоны подавления гриба до 10 мм; (++) – до 20 мм; (–) – отсутствие подавления.

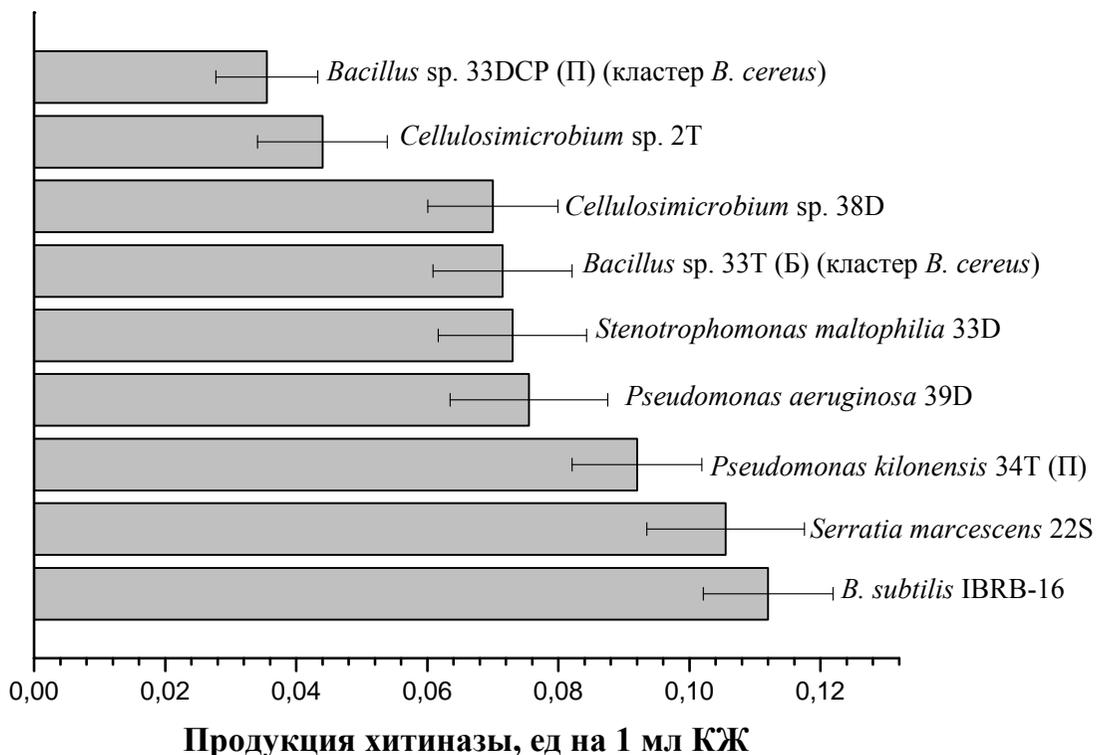


Рис. 1. Биосинтез хитинолитических ферментов в глубоинной культуре (160 об/мин, 30°C) штаммов бактерий-деструкторов ХФУК (5-е сутки культивирования)

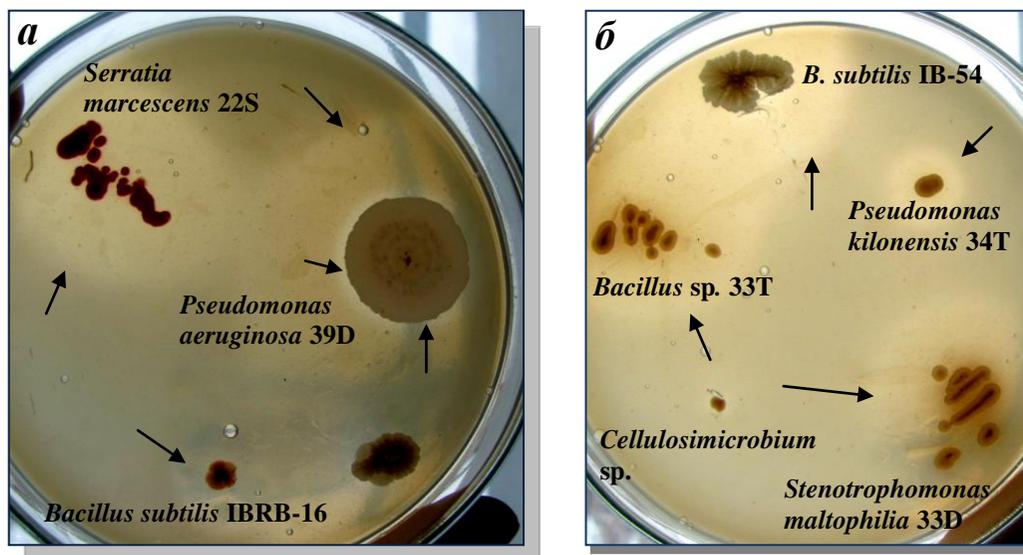


Рис. 2. Рост и гидролитическая активность различных штаммов бактерий-деструкторов ХФУК на среде с 0.5% хитозана (5–6-е сутки, 28°C). Стрелками обозначены границы ореолов просветления, соответствующих зонам частичного гидролиза субстрата. Отдельно для штамма *P. aeruginosa* 39D (а) стрелками показана внутренняя прозрачная зона, в которой наблюдается наиболее полная деполимеризация хитозана. Штамм *B. subtilis* IB-54 (б) приведен для сравнения и не является деструктором ХФУК

**Результаты и их обсуждение.** Из семнадцати исследованных штаммов семь относились к роду *Bacillus*, по два штамма к родам *Pseudomonas* и *Cellulosimicrobium*, остальные шесть были представлены другими родами грамотрицательных и грамположительных бактерий (табл.). Среди бацилл большинство (5) составляли представители *B. subtilis* и близкие к *B. cereus* штаммы, что говорит о высоком потенциале этих видов в деструкции хлорсодержащей органики. Один из штаммов был идентифицирован ранее на основе анализа гомологии гена 16S рРНК как вид *B. methylotrophicus*, впервые описанный и переопределенный в 2010 г. [8]. Потенциал *B. methylotrophicus* IBRB-25S как деструктора ХФУК и его устойчивость к повышенным концентрациям экотоксикантов могут быть обусловлены физиолого-биохимическими особенностями представителей этого вида. Показана способность одного из штаммов *B. methylotrophicus* как к эффективной гетеротрофной нитрификации, так и денитрификации в аэробных условиях [9]. Подобные свойства показывают возможность использования этих бактерий для очистки сточных вод от различных форм органического азота. В целом примерно две трети тестированных штаммов показывали способность к деградации хитина, и лишь треть штаммов были активны в отношении хитозана (см. табл.). Следует отметить, что хитинолитическая активность была обнаружена в основном у представителей бактерий, для которых она является обычной. Сюда входили штаммы бацилл (за исключением *B. methylotrophicus*), псевдомонад и такие известные виды гамма-протеобактерий, как *S. marcescens* и *S. maltophilia*. Интересным представляется обнаружение хитиназной активности у двух штаммов рода *Cellulosimicrobium*, относящегося к актинобактериям, способным разрушать целлюлозу.

Активные культуры характеризовались различной степенью и динамикой деструкции коллоидного хитина в агаре. Максимальная абсолютная активность, регистрируемая по размерам зон гидролиза субстрата, наблюдалась у штамма *P. kilonensis* 34Т

(П), однако наибольшие значения, выражаемые в отношении этого показателя к размеру бактериальных колоний, показывали культуры *B. subtilis* IBRB-16, *Cellulosimicrobium* sp. 2Т и *S. marcescens* 22S (см. табл.). Коэффициенты отношения средних значений диаметра или площади зон видимого гидролиза хитина к соответствующим показателям растущих колоний более адекватно отражали удельную гидролитическую активность отдельных штаммов, однако достаточно слабо коррелировали ( $r_{x,y} \sim 0.186$ ) со среднесуточной скоростью гидролиза ими субстрата (см. табл.). Тем не менее большинство наиболее активных по абсолютным показателям штаммов характеризовались значительной скоростью расщепления хитина. На начальных этапах культивирования скорость гидролиза хитина была наиболее высокой у *B. subtilis* IBRB-16, *S. marcescens*, *S. maltophilia*, что соотносилось с уровнем синтеза хитиназ исследуемыми штаммами в жидкой среде с 0.5% коллоидного хитина (рис. 1).

Практически все хитинолитические штаммы, за исключением обоих штаммов *Cellulosimicrobium* sp., показывали способность к гидролизу хитозана в агаризованной среде (см. табл.). К пятым суткам бактерии формировали довольно крупные непрозрачные или полупрозрачные зоны гидролиза субстрата, имеющие размытую внешнюю границу (рис. 2, а, б). Такой характер деструкции хитозана в агаре был примерно схож у большинства культур, исключение составлял штамм *Pseudomonas aeruginosa* 39D (см. рис. 2, а).

Синтез хитинолитических ферментов может определять рост-ингибирующее и миколитическое действие бактерий в отношении микромицетов [10], однако в исследованной группе (9 хитинолитических штаммов) только один штамм показывал антагонистическую активность против ряда фитопатогенных грибов – *Bacillus* sp. 33Т (Б) (см. табл.). В целом антигрибная активность была выявлена у 5 из 17 изученных штаммов бактерий-деструкторов ХФУК, при этом четыре штамма относились к роду

*Bacillus*. Способность бацилл к продукции антибиотических веществ общеизвестна, и сочетание такой активности у видов, таких как *B. subtilis* и представителей группы *B. cereus* (см. табл.) с метаболической активностью в отношении ХФУК и других соединений хлорароматического ряда, говорит об их высоком адаптационном потенциале. Вместе с тем для специализированных видов бактерий-деструкторов, как правило, не характерно выраженное проявление антагонистических свойств. В этом свете особый интерес представляют штаммы *Bacillus methylotrophicus* IBRB-25S и *Rhodococcus erythropolis* 17S, относящиеся к тем видам, у которых антигрибная активность описана впервые. Штамм *B. methylotrophicus* IBRB-25S проявлял наибольшую антагонистическую активность среди исследованных бактерий, ингибируя рост не только *Bipolaris sorokiniana*, но и других фитопатогенных и сапротрофных микромицетов, в т.ч. *Fusarium oxysporum*, *Paecilomyces variotii* и др. (данные не представлены). Близость *B. methylotrophicus* к группе *B. subtilis* [8] предполагает высокую вероятность наличия в его геноме генов пептидил-синтаз, участвующих в синтезе антибактериальных и антигрибных липопептидов и других антибиотиков и обуславливающих его антагонистический потенциал.

Полученные результаты свидетельствуют об активном участии почвенных бактерий-деструкторов ХФУК в процессах биодеградации хитина и хитозана. Преобладающую долю среди хитинолитических штаммов бактерий-деструкторов составляют представители родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Cellulosimicrobium*, а также известные по своей способности к синтезу хитиназ виды *Serratia marcescens* и *Stenotrophomonas maltophilia*. Адаптивный потенциал этой группы, по всей видимости, выше по сравнению со специализированными видами бактерий-деструкторов, которые не способны к использованию хитина и других природных полисахаридов в качестве источника углерода. Не установлено прямой зависимости между проявлением

хитинолитической и антагонистической активности у бактерий-деструкторов. Антигрибная активность была выявлена менее чем у трети исследованных штаммов, что может свидетельствовать об относительно слабо выраженном характере их антагонистических взаимоотношений с микромицетами в загрязненных экосистемах. Особый интерес для дальнейшего изучения в качестве потенциального объекта биотехнологий и источника новых антибиотических соединений представляет штамм *Bacillus methylotrophicus* IBRB-25S, способный подавлять рост широкого спектра фитопатогенных грибов.

### Литература

1. Jacobsen C.S., Hjelmsó M.H. Agricultural soils, pesticides and microbial diversity // Current Opinion in Biotechnology. 2014. V. 27. N. 2. P. 15–20.
2. Janssen D.B., Dinkla I.J.T., Poelarends G.J., Terpstra P. Bacterial degradation of xenobiotics compounds: evolution and distribution of novel enzyme activities // Environ. Microbiol. 2005. V. 7. N. 12. P. 1868–1882.
3. Aktar Md.V., Sengupta D., Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards // Interdisc Toxicol. 2009. V. 2. N. 1. P. 1–12.
4. Diaz E. Bacterial degradation of aromatic pollutants: a paradigm of metabolic versatility // Int. Microbiol. 2004. V. 7. P. 173–180.
5. Bier S., Bertillon S. Bacterial chitin degradation – mechanisms and ecophysiological strategies // Frontiers in Microbiol. 2013. V. 4. P. 1–12.
6. Жарикова Н.В., Журенко Е.Ю., Коробов В.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркушева Т.В. Биоразнообразие бактерий – деструкторов хлорированных феноксикислот // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6. С. 121–123.
7. Helisto P., Aktuganov G., Galimzianova N., Melentjev A., Korpela T. Lytic enzyme complex of an antagonistic *Bacillus* sp. X-b: Isolation and purification of components // J. of Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl. 2001. V. 758, № 2. P. 197–205.
8. Madhaiyan M., Poonguzhali S., Kwon S.-W., Sa T.-M. *Bacillus methylotrophicus* sp. nov., a methanol-utilizing, plant-growth-promoting bacterium isolated from rice rhizosphere soil // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2010. V. 10. P. 2490–2495.

9. Zhang Q.-L., Liu Y., Ai G.-M., Miao L.-L., Zheng H.-Y., Liu Z.-P. The characteristics of a novel heterotrophic nitrification – aerobic denitrification bacterium, *Bacillus methylotrophicus* strain 17 // *Bioresource Technol.* 2012. V. 108. P. 35–44.

10. El-Mougya N.S., Abdel-Kadera M.M., Alhabebb R.S. In vitro antifungal activity of chitinolytic enzymes produced by bio-agents against root rot pathogenic fungi // *Arch. Phytopathol. and Plant Protection.* 2011. V. 44, N. 7. P. 613–622.

### References

1. Jacobsen C.S., Hjelmso M.H. Agricultural soils, pesticides and microbial diversity. *Current Opinion in Biotechnology*, 2014, vol. 27, no. 2, pp. 15–20.

2. Janssen D.B., Dinkla I.J.T., Poelarends G.J., Terpstra P. Bacterial degradation of xenobiotics compounds: evolution and distribution of novel enzyme activities. *Environ. Microbiol.*, 2005, vol. 7, no. 12, pp. 1868–1882.

3. Aktar Md.V., Sengupta D., Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisc Toxicol.*, 2009, vol. 2, no. 1, pp. 1–12.

4. Diaz E. Bacterial degradation of aromatic pollutants: a paradigm of metabolic versatility. *Int. Microbiol.*, 2004, vol. 7, pp. 173–180.

5. Bier S., Bertillon S. Bacterial chitin degradation – mechanisms and ecophysiological strategies. *Frontiers in Microbiol.*, 2013, vol. 4, pp. 1–12.

6. Zharikova N.V., Zhurenko E.Yu., Korobov V.V., Yasakov T.R., Anisimova L.G., Markusheva T.V. Bacterial biodiversity as decomposers of chlorphenoxiacetic acids. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no. 6, pp. 121–123.

7. Helisto P., Aktuganov G., Galimzianova N., Melentjev A., Korpela T. Lytic enzyme complex of an antagonistic *Bacillus* sp. X-b: Isolation and purification of components. *J. Chromatogr. B Biomed Sci. Appl.*, 2001, vol. 758, no. 2, pp. 197–205.

8. Madhaiyan M., Poonguzhali S., Kwon S.-W., Sa T.-M. *Bacillus methylotrophicus* sp. nov., a methanol-utilizing, plant-growth-promoting bacterium isolated from rice rhizosphere soil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 2010, vol. 10, pp. 2490–2495.

9. Zhang Q.-L., Liu Y., Ai G.-M., Miao L.-L., Zheng H.-Y., Liu Z.-P. The characteristics of a novel heterotrophic nitrification – aerobic denitrification bacterium, *Bacillus methylotrophicus* strain 17. *Bioresource Technol.*, 2012, vol. 108, pp. 35–44.

10. El-Mougya N.S., Abdel-Kadera M.M., Alhabebb R.S. In vitro antifungal activity of chitinolytic enzymes produced by bio-agents against root rot pathogenic fungi. *Arch. Phytopathol. and Plant Protection*, 2011, vol. 44, no. 7, pp. 613–622.

## CHITINOLYTIC ACTIVITY AND ANTAGONISTIC PROPERTIES OF CHLORPHENOXIACETIC ACID DEGRADING BACTERIA

© G.E. Aktuganov, N.F. Galimzianova, N.V. Zharikova, E.Yu. Zhurenko, V.V. Korobov, T.R. Yasakov, T.V. Markusheva

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

We studied chitinolytic activity of 17 bacterial strains belonging to various taxonomic groups isolated earlier from polluted soils in the industrial area of the Joint Stock Company for CWDF in Ufa and capable of degrading chlorphenoxiacetic acids and other chlorinated aromatic compounds. More than half (9) of the strains under study were capable of hydrolyzing chitin and only four (4) strains hydrolyzed chitosan. Chitinolytic activity was found mainly in bacteria known for their ability to produce chitinases, including *Bacillus* and *Pseudomonas* spp. as well as *Serratia marcescens* and *Stenotrophomonas maltophilia*. The highest chitinase activities were recorded in the *B. subtilis*, strain IBRB-16 and *S. marcescens* strain 22S. No direct correlation was revealed between the chitinolytic activity of bacterial decomposers and their antifungal properties. Less than a quarter of all the strains were capable of inhibiting the growth of the plant pathogenic fungus *Bipolaris sorokiniana*, and most of them belonged to bacilli. The strains *B. methylotrophicus* IBRB-25S and *Rhodococcus erythropolis* 17S are the most attractive as potentially novel objects among antagonistic bacteria.

Key words: bacterial decomposers, 2,4-D, chlorphenoxiacetic acids, chitinolytic enzymes, antagonism, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Cellulosimicrobium*, *S. marcescens*, *S. maltophilia*.

УДК 681.06:57.063

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЕРТНЫХ ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОРСКИХ ГИДРОБИОНТОВ

© Ю.Н. Токарев, С.Г. Лелеков, А.М. Лях, С.А. Царин

В условиях катастрофического снижения биоразнообразия Мирового океана необходима постоянная качественная экспертиза для идентификации видов и инвентаризация водной биоты. Следует также обладать обширными знаниями по исследуемым гидробионтам.

В этом плане в Институте морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского разрабатывались Таксономические экспертные системы (ТЭС), чтобы помочь ученым профессионально идентифицировать живые организмы. Они обеспечивают ученых различной таксономической информацией, в том числе описаниями таксонов и диагнозами, данными по географическому распространению, знанием научной номенклатуры, определительными ключами и иллюстрациями признаков и видов, как можно более полной библиографией.

Представлена история развития ТЭС в Институте: от TAXEX до TAXAKEYS. Даны алгоритмы работы TAXEX с дихотомическим идентификационным деревом и двоичной определительной таблицей для дихотомического ключа, а также с усовершенствованной таблицей, имеющей более чем два состояния признака и не имеющей пустых ячеек. При этом система в первую очередь задает вопросы по признакам, не требующим больших затрат времени и средств, для выявления их значений (микроскопии, препарирования и т.д.), и работает с широко распространенными видами. При незнании ответа или при затруднениях, связанных с повреждением объекта, можно пропускать признак, и тем не менее определять вид с высокой степенью достоверности.

Показаны преимущества последней экспертной системы TAXAKEYS, заключающиеся в ее адаптивности, а также в принципе определения видов не по дихотомическим ключам, а по детальному, структурированному описанию признаков таксона, построенному строго по единому плану, категорически, без пропусков каких-то признаков (имеющихся хотя бы у одного представителя таксона). Такие описания идентичны строкам определительной таблицы многовходового ключа.

Идентификация осуществляется посредством диалогов с пользователем. Они служат как для совершенствования теоретических и практических знаний опытных таксономистов и облегчения их работы, так и для обучения новых таксономистов. Представлены тесты для обучения работы с ТЭС.

Ключевые слова: таксономические экспертные системы, база знаний, определительный ключ, определительная таблица, «TAXEX», «TAXAKEYS», адаптивная экспертная система.

**Введение.** Снижение биологического разнообразия, невозполнимая потеря генетического наследия и утрата организмами ряда мест обитаний увеличиваются во многих частях света. Эти процессы, усиленные недостаточным знанием биот планеты, ограничивают управление природными экосистемами и подвергают опасности сохранение биологических ресурсов. Двумя компонентами этой глобальной проблемы являются:

- отсутствие необходимой экспертизы для идентификации и инвентаризации биоты;
- скудные знания по многим водным и земным организмам.

Для решения вышеупомянутых проблем были созданы компьютерные таксономические экспертные системы (ТЭС). Они обеспечивают ученых различной таксономической информацией, в том числе: описаниями таксонов, их диагнозами, сведениями по геогра-

ТОКАРЕВ Юрий Николаевич – д.б.н., Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, e-mail: y.tokarev@gmail.com

ЛЕЛЕКОВ Сергей Георгиевич – к.ф.-м.н., Севастопольский государственный университет, e-mail: p1859@yandex.ua

ЛЯХ Антон Михайлович – к.б.н., Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, e-mail: antonlyakh@gmail.com

ЦАРИН Сергей Анатольевич – к.б.н., Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, e-mail: tsarin@mail.ru

фическому распространению, научной номенклатурой, определительными ключами, иллюстрациями. ТЭС представляет инструмент для диалоговой идентификации живого организма и позволяет обучать начинающих таксономистов. В этом плане много открытых вопросов существуют даже для Черного моря, на берегах которого находится институт. Биологическое разнообразие Черного и Азовского морей хорошо описано в монографиях и научных статьях Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского – ИнБИОМ (ныне Институт морских биологических исследований – ИМБИ), но общедоступные интернетовские ресурсы для этих регионов развиты очень слабо. За истекшие годы интерес к этому региону особенно возрос благодаря уникальным открытиям видов, населяющих сероводородную зону Черного моря, ранее неизвестных науке [1].

Создание общедоступных интернет-ресурсов поможет сохранить биоразнообразие Мирового океана и увеличит наши знания о жизни в морской среде, а также покажет способ для сбора новой информации [2].

#### **Задачи:**

- выполнять сбор, описание и классификацию таксономических ресурсов океана;
- поддерживать научное знание о биотах Мирового океана в базах данных и базах знаний и сохранять это для будущих поколений ученых;
- хранить знание опытных таксономистов в корректном формате в рамках ТЭС;
- предоставить широкий доступ к таксономическим и практическим знаниям по экосистемам Черного и Азовской морей и других районов Мирового океана для научного общества и заполнить брешь недоступной информации по флоре и фауне океана;
- разработать программное обеспечение для таксономических идентификаций представителей экосистем Мирового океана экспертами, с возможностью обучения новых поколений таксономистов.

**История развития таксономических экспертных систем.** Первой подобной отечественной системой была TAXEX – таксономическая экспертная система, диалоговый компьютерный определитель биологических видов и база знаний, включающая специфиче-

скую таксономическую информацию, термины, библиографию и т.п. TAXEX была разработана в ИМБИ в конце 1980-х гг. На протяжении разработки алгоритмы таксономической идентификации и интерфейс для представления этих знаний изменялись, но традиционные дихотомические таксономические ключи никогда не использовались. Система пыталась моделировать поведение эксперта при идентификации таксона [3].

Первоначальные версии TAXEX работали под MS DOS и имели много ограничений. Самая первая версия системы была основана на концепции структур (признаков), которые являются компьютеризированным представлением экспертами идеи об идентифицируемом объекте. Определение свойств структур (значений признаков) позволяет идентифицировать таксоны. Эти принципы были основой компьютерного определителя черноморских изопод [4]. Недостатки этого подхода стали очевидными при попытках создания новых определителей. Описание структур и различные правила о том, как использовать их, очень специфичны для каждой группы организмов. Создание общего метода описаний структурных формирований стало сложным. Все дальнейшие усилия были сконцентрированы на попытке создать более универсальную модель для процесса таксономических идентификаций. Такой механизм разрабатывался [5] и использовался в компьютерных определителях личинок рыб Черного моря, двустворчатых моллюсков Черного моря, брюхоногих моллюсков Черного моря и рыб Черного и Средиземного морей, а также миктофовых рыб Мирового океана. Эти экспертные системы работают под MS Windows и управляют таксономическими знаниями, которые хранятся в базе данных. Они называются TAXEXW (W – Windows). С одной стороны, для них характерно четкое описание признаков. В определителях на бумажных носителях нередко встречаются весьма расплывчатые характеристики признака, например, спинной плавник: высокий, средний, низкий. Если ранее исследователь не работал с идентифицируемыми видами, то определить относительную высоту плавника по таким данным практически невозможно. В электронных определителях основные признаки

имеют четкие, конкретные характеристики. Например, высота спинного плавника может характеризоваться только цифровыми показателями (процент или доля относительно стандартной длины тела – SL, процент относительно длины основания плавника, относительно высоты тела и т.д.). С другой стороны, широко применяются и весьма расплывчатые признаки. Одной из основных проблем при создании и заполнении компьютерных баз гидробиологических знаний является неоднозначность естественного языка, используемого биологами-систематиками при описании объектов. «Значительно удлиненные лучи», «тело низкое», «край сильно зазубрен», «тело стройное» – такие определительные признаки сплошь и рядом встречаются в классических определительных таблицах. В этой ситуации вполне оправданным становится использование аппарата нечетких множеств. В настоящее время работы по созданию ТЭС проводятся в рамках госзадания «Развитие современных информационных технологий для систематизации гидробиологических данных и знаний. Создание методов и технологий оперативного контроля экологического состояния биоты, оценки и прогноза качества морской среды».

Для последних мультимедийных определителей, выполненных при частичной поддержке РФФИ по проекту № 14-44-01566 «р\_юг\_а» разработана усовершенствованная ТЭС «TAXAKEYS». Впервые решено построить определитель не по принципу таксономических определительных таблиц по признакам, а по принципу описаний видов. Внутри каждого из семейств все видовые описания подготовлены по единому плану, включены описания одних и тех же признаков, по возможности структурированные, построенные по рангу. Если в ТЭС «TAXEX» можно было задавать до 8 значений (характеристик) признака, то в ТЭС «TAXAKEYS» число значений признака не ограничено.

**Идентификационные алгоритмы.** Чтобы описать идентификационные алгоритмы, применяемые в первых вариантах TAXEX, была использована классическая таксономическая идентификационная схема, основанная на дихотомическом ключе. Это может быть представлено как двоичное дерево, где узлы содер-

жат описания таксономических признаков, и листы содержат описание таксона. Чтобы идентифицировать организм, необходимо последовательно пересечь идентификационное дерево от его корня до одного из листьев (рис. 1, А). Для каждого шага нужно выбрать состояние признака, соответствующее определяемому таксону, и следующее направление движения.

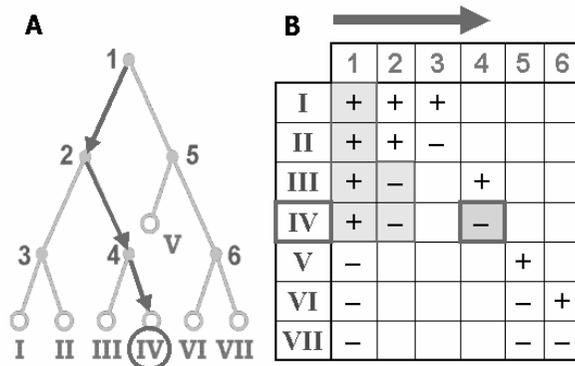


Рис. 1. А – представление классического идентификационного ключа в форме двоичного дерева. Арабские цифры – диагностические признаки, римские – идентифицируемые таксоны. Стрелки показывают один из возможных путей идентификации. В – определительная таблица, которая соответствует определительному дереву. Стрелка над таблицей показывает путь определения

Подобный дихотомический идентификационный процесс имеет следующие недостатки:

- на каждом шагу идентификации можно выбрать только между двумя вариантами, это увеличивает число необходимых шагов;
- путь фиксирован, никакой признак не может быть опущен;
- состояние некоторых признаков неопределено для некоторых таксонов, если признаки и их таксоны лежат в различных ветвях;
- если вы не можете выявить состояние признака, когда организм, например, поврежден, дальнейший диагноз становится невозможным.

Идентификационные деревья могут быть преобразованы в определительную таблицу-матрицу, где ряды содержат состояние всех идентификационных признаков для данного таксона, а колонки содержат состояние данного признака для каждого таксона. При использовании определительной таблицы процедура идентификации организмов может

быть представлена как последовательное разделение групп таксона на подгруппы, когда деление уже невозможно – процесс окончен. Путь диагноза определяется порядком колонок (рис. 1, В).

Определительная таблица для двоичного таксономического ключа имеет много пустых ячеек, и заполненные ячейки могут только содержать два значения: «да» или «нет». Чтобы улучшить эту ситуацию, было предложено использовать новую усовершенствованную определительную таблицу, в которой:

- совсем нет пустых ячеек, т.е.: нет неопределенных признаков;
- признаки могут иметь более чем два состояния;
- ячейки могут содержать более чем одно состояние признака.

Идентификационный процесс был построен на усовершенствованной определительной таблице, которая позволяет любому пользователю системы TAXEX заполнять ячейки свободнее. На каждом шаге идентификации пользователь может:

- опустить признак, если не смог определить его состояние, например, когда организм частично поврежден;
- выбрать более чем один ответ, когда заметно, что таксон в вопросе имеет несколько значений признака, или он не убежден в точности признака определения.

Чтобы идентифицировать таксон в таких нестрогих условиях, система TAXEX использует гипотезу о таксономическом положении организма. В начале процесса определения все таксоны имеют максимальные вероятности, и система предполагает, что диагностированный таксон принадлежит к высшему таксономическому разряду. Через выбор определенного значения вероятность таксонов, не соответствующих ответу, уменьшается (рис. 2).

Когда идентификация закончена, пользователь получает таксон с максимальной вероятностью как результат диагноза. Конечно, он может рассматривать все другие версии системы с низшими вероятностями. Если пользователь знает таксономическое положение организма, он может изменить текущую гипотезу системы, выбирая название отряда, семейства, рода и т.п., это позволяет исклю-

чить вопросы по поводу других таксономических групп и сократить число идентификационных шагов.

Ответы пользователя	II	1	–	2	1	2, 3	2	3
Гипотеза TAXEX		1	2	3	4	5	6	7
I	2	1	*	4	*	1, 2	1	
II								
III					3	3, 4	3	
IV		2	1	3	1	2	2	

Рис. 2. Гипотеза TAXEX после ответа пользователя на вопросы системы. Выше – состояние признаков идентифицированного объекта. Ниже – определительная таблица с гипотезами TAXEX. В данном случае самой вероятной гипотезой о таксономическом статусе организма является таксон II

Чтобы сократить число необходимых шагов, TAXEX старается выбрать признак, который подтверждает самую вероятную гипотезу. Этому признаку придется поделить группу самого вероятного таксона на подгруппы. На каждом шагу TAXEX пытается выбрать лучший разделительный признак согласно текущей гипотезе и остатку неидентифицируемых признаков. Кроме того, лучшему делению придется соответствовать двум критериям:

- первый критерий принимает во внимание вероятность существования таксона. Некоторые виды – очень многочисленны и широко распространены. Они иногда присутствуют в каждой пробе. Другие виды очень редки и из ограниченных регионов. Поэтому вначале бесполезно спрашивать пользователя о признаках редких видов. Система предполагает, что определяется широко распространенный таксон и пытается идентифицировать его. И только когда диагноз не дает никаких соответствующих результатов, система спросит о признаках редких видов;

- второй критерий принимает во внимание затраченные усилия для определения характеристик признаков таксона. Обычно для определения значений признака с малой затратой усилий не нужны специальные инструменты; эти признаки внешние (морфологические, часто дискретные) и могут быть легко выделены. Признаки со значительными

сложностями для определения обычно внутренне; нужны специальные инструменты для их исследования, например, микроскоп или скальпель. TAXEX в первую очередь задает вопросы о легких для определения признаках, и предоставляет возможность идентифицировать таксон без дополнительных действий, подобно микроскопическим наблюдениям или вскрытиям. Сложность определения признака и вероятности существования выборки видов в природе установлены таксономистами, которые разрабатывают определитель. Лучшее деление выбирает система при каждом шаге идентификации.

Таким образом, функционирование определителей TAXEX основано на следующей информации:

- наличие определительной таблицы, которая устанавливает соответствие между таксонами и их признаками;
- оценка затраченных усилий на определение признака;
- вероятность существования выборки определенного таксона в природе.

Однако в этих ТЭС не реализован механизм обратного отклика. Во избежание многократных определений новая система TAXAKEYS была дополнена подсистемой, запоминающей значения признаков организма. Она информирует пользователя о том, что введенная комбинация признаков уже содержится в базе данных, и предоставит ему возможность связывать значения признаков с новым таксономическим названием. При этом система усваивает информацию о новых таксонах и обучается их опознаванию. Подобные ТЭС относятся к классу адаптивных экспертных систем.

**Обучение.** Обучение идентификации объектов состоит из следующих элементов:

- изучение связей образцов со всеми объектами классов;
- изучение характерных признаков образцов из различных классов;
- знакомство с идентификационными процедурами.

Эксперты с глубокими практическими знаниями, имеющие доступ к биологическим коллекциям, атласам животных и растений, идентификационным ключам, необходимы для процесса обучения. Для молодых универ-

ситетов, где научные школы только начинают развиваться, квалификация инструкторов и наличие учебного оборудования часто является проблемой. В этих случаях ТЭС помогут восполнить их отсутствие. Они имеют специальные четыре теста:

• *Как хорошо вы знаете образец?* Тест используется, чтобы развивать способность людей идентифицировать образцы, используя специфические признаки. Во время проверки обучаемому придется выбрать правильные состояния этих признаков.

• *Как хорошо вы знаете признаки таксона?* Система показывает признаки, подчеркивает их состояние и просит выбрать таксон, с которым эти признаки связаны.

• *Узнайте таксон по признакам.* Во время проверки система TAXEX перечисляет значения признаков таксона и в конечном итоге просит обучаемого указать таксон, с которым эти признаки связаны.

• *Узнайте таксон по изображениям.* Система показывает одно или более изображений возможного таксона, и нужно указать его таксономическое название.

Одно из важных преимуществ системы – возможность разместить все в интернете. Это позволяет организовать дистанционное обучение.

**Заключение.** Использование ТЭС дает опыт определения видов. Новичок может идентифицировать таксоны подобно эксперту. Эти системы могут использоваться в междисциплинарных науках: на стыке наук, где нужны специалисты различных научных направлений. Применение ТЭС вместо высокооплачиваемых таксономистов поможет сократить затраты на научные исследования и позволит многим ученым без специального биологического образования провести исследования более или менее самостоятельно. ТЭС также полезны для начинающих молодых таксономистов. Диалоговые учебные инструменты стимулируют обучаемого активно учиться.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Sergeeva N.G. Meiobenthos of deep-water anoxic hydrogen sulphide zone of the Black Sea // Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea. Similarities and differences of two interconnected basins. Yilmaz A. (Ed.). Tubitak Pube. 2003. P. 880–887.

2. Токарев Ю.Н., Лелеков С.Г., Мельников В.В., Лях А.М. Перспективы использования компьютерных технологий в области таксономии // Экология моря. 2002. Вып. 61. С. 95–98.

3. Lelekov S., Lyakh A. TAXEX: TAXonomic EXpert system. History of development and technology of identification // Proc. of 'Ocean Biodiversity Informatics': an int. conf. on marine biodiversity data management. Paris: UNESCO, VLIZ, BSH, 2007. P. 113–120.

4. Лелеков С.Г., Макавеева Е.Б. Компьютерное определение ракообразных отряда *Isopoda* Черного моря // Зоологический журнал. 1996. Вып. 75. С. 35–44.

5. Лелеков С.Г. К вопросу выбора последовательности признаков в диагностических экспертных системах // Кибернетика. 1994. № 4. С. 167–173.

graphy of the Eastern Mediterranean and Black Sea. Similarities and differences of two interconnected basins. A. Yilmaz (ed.). Anjara, Tubitak Publ, 2003 pp. 880–887.

2. Tokarev Y.N., Lelekov S.G., Melnikov V.V., Lyakh A.M. Prospects for using computer technologies in taxonomy. *Ekologiya morya*, 2002, no. 61, pp. 95–98.

3. Lelekov S., Lyakh A. TAXEX: TAXonomic EXpert system. History of development and technology of identification. Proc. of 'Ocean Biodiversity Informatics. Int. conf. on marine biodiversity data management (Hamburg, Germany, November 29 – December 1, 2004). Paris: UNESCO, VLIZ, BSH, 2007, pp. 113–120. (IOC Workshop Report, 202) (VLIZ Special Publication, 37).

4. Lelekov S.G., Makaveeva E.B. Computer determination of the crustacean order *Isopoda* of the Black Sea. *Zoologicheskii zhurnal*, 1996, no. 75, pp. 35–44.

5. Lelekov S.G. On the problem of choosing the sequence of characters in diagnostic expert systems. *Kibernetika*, 1994, no. 4, pp. 167–173.

### References

1. Sergeeva N.G. Meiobenthos of deep-water anoxic hydrogen sulphide zone of the Black Sea. *Oceanog-*

## HISTORY OF DEVELOPMENT, WORK PRINCIPLES AND PROSPECTS OF IDENTIFICATION EXPERT SYSTEMS FOR MARINE HYDROBIONTS

© Yu.N. Tokarev<sup>1</sup>, S.G. Lelekov<sup>2</sup>, F.M. Lyakh<sup>1</sup>, S.A. Tsarin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kovalevsky Institute of Marine Biological Research, RAS,  
2, prospekt Nakhimova, 299011, Sevastopol, Russian Federation

<sup>2</sup>Sevastopol State University,  
33, ulitsa Universitetskaya, 299053, Sevastopol, Russian Federation

The catastrophic decline of biodiversity in the World Ocean necessitates permanent high-quality examination for authentication of species and inventory of the aquatic biota. It is also important to have extensive knowledge of the hydrobionts under study.

In view of these considerations, Taxonomic Expert Systems (TES) have been developed in the Kovalevsky Institute of Marine Biological Research to help scientists with identifying biological organisms in a professional way. They provide different taxonomic information, including taxon descriptions and diagnoses, information on geographical distribution, knowledge of scientific nomenclature, identification keys and illustrations of species and their characters, and also the bibliography to be as complete as possible.

The paper describes the history of TES development in the Institute from TAXEX to TAXAKEYS. It gives the algorithms of TAXEX work with the dichotomous identification tree and binary identification table for the dichotomy key as well as with the improved identification table that have more than two states of a character and no empty cells. First of all, the system asks questions on the characters that *require less time and facilities* (microscopy, preparation, etc.) to be identified and works with widespread species. It is possible to skip a character if no answer is known or in case of difficulties related to the damage of an object and yet determine a species with a high degree of authenticity.

Advantages of the latest expert system TAXAKEYS are shown that consist in its adaptability and also in the species identification based not on dichotomous keys, but on a detailed and structured taxon description built strictly according to a single plan, in a categorical manner and without skipping any character (even if it is found only in one representative of a taxon). Such descriptions are identical to lines in the identification table of the multiple-input key.

Identification is realized through dialogue with a user. They serve for improving theoretical and practical knowledge of experienced taxonomists and facilitating their work, and also for training new specialists. Tests are available for training in the use of TES.

Key words: taxonomic expert system, knowledge base, identification key, identification table; TAXEX, TAXAKEYS, adaptive expert system.

УДК 581.5:630.181

**ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ****© Г.А. Зайцев, А.Ю. Кулагин, Р.В. Уразгильдин, О.А. Дубровина, К.В. Логвинов,  
Н.А. Афанасов, А.Н. Чабан, Р.И. Шайнуров, О.В. Тагирова, К.З. Аминова**

Проведена оценка относительного жизненного состояния насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях промышленного загрязнения. Исследования проводились в пределах двух крупных промышленных центров – Уфа (Республика Башкортостан) и Липецк (Липецкая область). Основными стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются группа нефтехимических предприятий (г. Уфа) и Новолипецкий металлургический комбинат (г. Липецк). Установлено, что в условиях загрязнения отмечается снижение относительного жизненного состояния изученных насаждений. В пределах Уфимского промышленного центра наименьший индекс относительного жизненного состояния имеют насаждения дуба черешчатого, в пределах Липецкого промышленного центра – насаждения сосны обыкновенной; наибольший индекс – насаждения березы повислой (Уфимский промышленный центр) и дуба черешчатого (Липецкий промышленный центр). Показано, что в условиях смешанного типа загрязнения в пределах Уфимского промышленного центра относительное жизненное состояние древесных насаждений ниже, чем в условиях Липецкого промышленного центра.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, береза повислая, дуб черешчатый, относительное жизненное состояние, Липецкий промышленный центр, Уфимский промышленный центр.

**Введение.** Техногенное воздействие на природную среду и объемы перемещаемых человеком химических веществ в биосфере давно стали сопоставимы с масштабами геологических и других природных процессов [1]. Отрицательное действие промышленных токсикантов приводит не только к ухудшению здоровья человека, но и проявляется в разрушении природных экосистем и формировании на их месте новых антропо-

генных ландшафтов. Поэтому вопросы ограничения циркуляции загрязнителей в окружающей среде, оздоровление техногенных ландшафтов и улучшение условий жизни особо актуальны и требуют своевременного решения наряду с социальными, политическими и экономическими проблемами страны. Древесным растениям по праву отводится ведущая роль в уменьшении техногенного пресса на среду, поскольку

ЗАЙЦЕВ Глеб Анатольевич – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: smu@anrb.ru

КУЛАГИН Алексей Юрьевич – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: coolagin@list.ru

УРАЗГИЛЬДИН Руслан Вилисович – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: urv@anrb.ru

ДУБРОВИНА Ольга Алексеевна, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, e-mail: laboratoria101@mail.ru

ЛОГВИНОВ Кирилл Вячеславович, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, e-mail: synergeticus@mail.ru

АФАНАСОВ Николай Анатольевич, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, e-mail: afanassov.na@gidroagregat.ru

ЧАБАН Александр Николаевич, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, e-mail: alexanderchaban@mail.ru

ШАЙНУРОВ Руслан Ильдусович, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, e-mail: forestry@mail.ru

ТАГИРОВА Олеся Васильевна, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, e-mail: olesuy@mail.ru

АМИНЕВА Клара Забировна, Уфимский институт биологии РАН, e-mail: forestry@mail.ru

они являются эффективным средством снижения загрязнения всех компонентов природной среды [2, 3]. При этом, произрастающая в техногенных условиях, древесные растения подвергаются воздействию промышленных токсикантов, что, в свою очередь, приводит к изменению роста и развития надземной фитомассы. Определение относительного жизненного состояния (ОЖС) древостоев позволяет дать интегральную оценку влияния всех экологических факторов (в том числе и промышленного загрязнения) на растения. Таким образом, оценивая ОЖС древостоев (степень тех или иных повреждений), можно оценить устойчивость отдельных деревьев и насаждений в целом к действию природных и техногенных факторов среды. С целью оценки устойчивости древесных растений к действию промышленного загрязнения было оценено относительное жизненное состояние насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в пределах двух крупных промышленных центров – Уфа и Липецк.

**Характеристика региона исследования.** Липецкий промышленный центр (как и вся Липецкая область) расположен в зоне сочленения Среднерусской возвышенности и Окско-Донской равнины [4]. Климат умеренно континентальный. Зима с устойчивым снежным покровом, средняя температура января минус 8°C. Лето теплое, средняя температура июля плюс 20°C. Осадков выпадает около 500 мм в год, максимум – в июле. Липецкая область характеризуется низкой лесистостью, общая площадь лесного фонда составляет всего 7.6% от территории области, на долю насаждений естественного происхождения приходится 53.8%. Липецк является крупнейшим городом области (510 тыс. жителей). На территории города располагается один из крупнейших комбинатов черной металлургии России ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК), на долю которого приходится более 80% всех выбросов в атмосферу от стационарных источников Липец-

кой области. По состоянию на 2015 год объем выбросов от НЛМК составил 276.4 тыс. т. Предприятие занимает 4 место во Всероссийском перечне предприятий с наибольшим объемом выбросов от стационарных источников [5]. В структуре промышленных выбросов в атмосферу ведущая роль принадлежит СО (67%), твердым частицам (7%) и NO<sub>x</sub> (5%).

Уфимский промышленный центр входит в Прибельский придолинный район правобережного Прибельского округа северной лесостепной подзоны провинции лесостепного высокого Заволжья лесостепной зоны Западной Башкирии (часть страны Русской равнины) [6]. Климат умеренно континентальный, достаточно влажный, лето теплое, зима умеренно суровая. Средняя годовая температура воздуха плюс 2.5°C, самый холодный месяц года январь (–14.6°C), самый теплый – июль (+19.0°C). Средняя годовая сумма осадков 447 мм, летом большая вероятность наступления засух. Уфа является крупнейшим городом республики (1 120 тыс. жителей). Основными промышленными предприятиями, ухудшающими экологическую ситуацию в городе, являются группа нефтеперерабатывающих предприятий компании ПАО АНК «Башнефть» («Башнефть-Уфанефтехим», «Башнефть-УНПЗ» и «Башнефть-Новоил»). По состоянию на 2015 год общий объем выбросов в атмосферу Уфимского промышленного центра от стационарных источников составил 140.6 тыс. т, при этом на долю выбросов от нефтеперерабатывающих предприятий приходилось 77% всех выбросов от стационарных источников. В структуре промышленных выбросов в атмосферу ведущая роль принадлежит летучим органическим соединениям (углеводороды, альдегиды и др.) (28%), СО (21%), NO<sub>x</sub> (11%) и SO<sub>2</sub> (7%) [7].

**Объекты и методика исследований.** Исследования проводились в насаждениях сосны обыкновенной, березы повислой и дуба черешчатого в условиях Липецкого и Уфимского промышленных центров. Закладка и описание постоянных пробных площадей в насаждениях проводилась по

стандартным методикам [8]. Пробные площади были заложены на территории Грязинского (Липецкий промышленный центр) и Уфимского (Уфимский промышленный центр) лесничеств. Пробные площади на территории Грязинского лесничества располагались в непосредственной близости от Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) (район агломерационной фабрики) и Липецкой ТЭЦ-2. В качестве относительного контроля для сосны обыкновенной были заложены пробные площади в 17,5 км к северу от НЛМК (окрестности с. Капитанщино), для березы повислой и дуба черешчатого – в 17 км к юго-востоку от НЛМК (окрестности с. Красная Дубрава). На территории Уфимского лесничества пробные площади были заложены в непосредственной близости от группы нефтеперерабатывающих предприятий (Башнефть-Уфанефтехим и Башнефть-Новыйл) в окрестностях п. Ново-Александровка. В качестве относительного контроля пробные площади заложены в окрестностях д. Уптино Уфимского района (рис.).

На пробных площадях проведен таксационный учет (табл. 1), высота деревьев замерялась высотомером Haglof Electronic Clinometer (Haglof, Sweden), диаметр определялся мерной вилкой Mantax Precision

Blue MA 800 (Haglof, Sweden). Возраст деревьев определялся по древесным кернам, отобраным при помощи возрастного бурава Haglof (Швеция) и проанализированных на измерителе параметров кернов Corim Maxi (Германия). Возраст всех изученных насаждений – 40–70 лет. Оценку относительного жизненного состояния (ОЖС) насаждений проводили по стандартной методике [9].

**Результаты и обсуждение.** Исследования показали, что в условиях промышленного загрязнения отмечается снижение относительного жизненного состояния древостоев (табл. 2). В пределах Липецкого промышленного центра в условиях загрязнения все изученные насаждения относятся к категории «ослабленные» (индекс ОЖС насаждений сосны обыкновенной – 70%, березы повислой – 71%, дуба черешчатого – 75%). В пределах Уфимского промышленного центра – к категории «сильно ослабленные» (индекс ОЖС насаждений сосны обыкновенной – 45%, дуба черешчатого – 43%) и «ослабленные» (индекс ОЖС насаждений березы повислой – 54%). В контроле в обоих промышленных центрах насаждения относятся к категории «здоровые», при этом в условиях Уфимского промышленного центра индекс ОЖС выше (91–97%), чем в условиях Липецкого промышленного центра (85–86%).

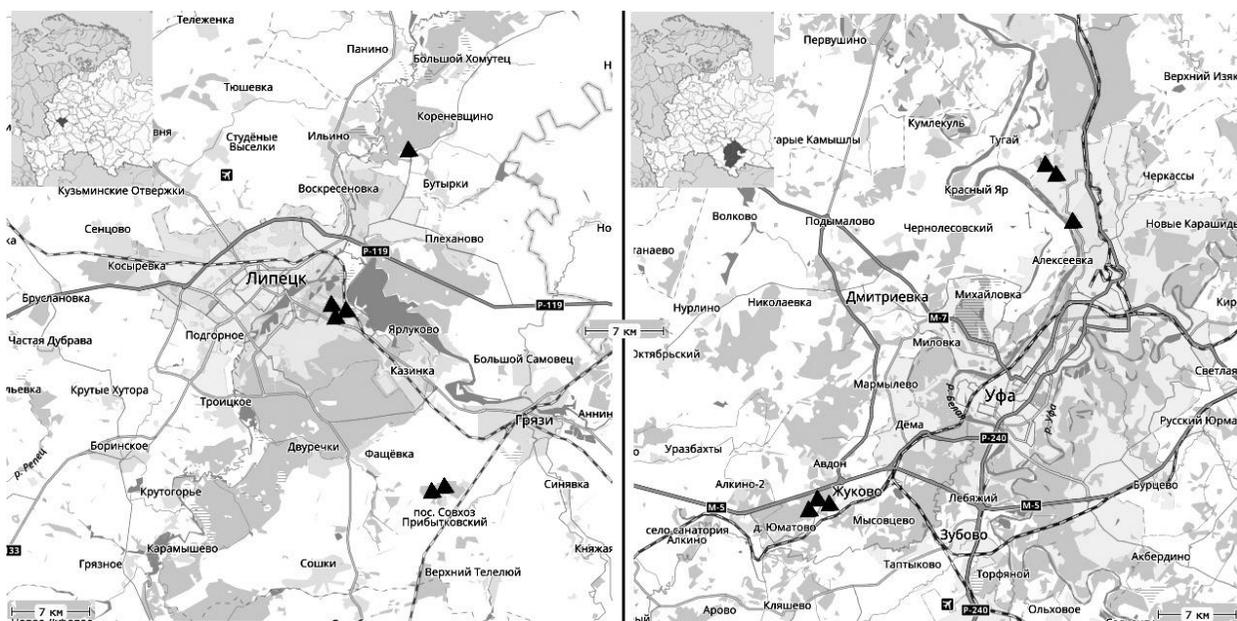


Рис. Картограмма расположения объектов исследования на территории Липецкого и Уфимского промышленных центров

Т а б л и ц а 1

*Краткая таксационная характеристика насаждений сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.), березы повислой (Betula pendula Roth) и дуба черешчатого (Quercus robur L.) в условиях Липецкого и Уфимского промышленных центров*

Порода	Расположение	Состав древостоя	Средний диаметр, см	Средняя высота, м
Липецкий промышленный центр				
Сосна обыкновенная	Загрязнение	9С1Б	30	28
	Контроль	10С	28	30
Береза повислая	Загрязнение	10Б	31	21
	Контроль	10Б	26	20
Дуб черешчатый	Загрязнение	10Д	46	22
	Контроль	10Д	36	23
Уфимский промышленный центр				
Сосна обыкновенная	Загрязнение	10С	13	12
	Контроль	10С	18	23
Береза повислая	Загрязнение	10Б	28	20
	Контроль	10Б	35	23
Дуб черешчатый	Загрязнение	8Д1Лп1Кл	24	18
	Контроль	8Д2Лп	26	19

Т а б л и ц а 2

*Характеристика диагностических признаков жизненного состояния и относительное жизненное состояние насаждений сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.), березы повислой (Betula pendula Roth) и дуба черешчатого (Quercus robur L.) в условиях Липецкого и Уфимского промышленных центров*

Порода	Расположение	Густота кроны, %	Наличие на стволе мертвых сучьев, %	Степень повреждения хвои/листьев, %	Относительное жизненное состояние, Lv, %
Липецкий промышленный центр					
Сосна обыкновенная	Загрязнение	55–85	15–45	10–45	70
	Контроль	85–100	15–20	0–10	85
Береза повислая	Загрязнение	60–65	20–25	15–20	71
	Контроль	75–80	10–15	5–10	86
Дуб черешчатый	Загрязнение	65–70	15–20	10–15	75
	Контроль	85	10–15	5–10	86
Уфимский промышленный центр					
Сосна обыкновенная	Загрязнение	20–50	40–50	20–60	45
	Контроль	90–100	0–10	0–10	97
Береза повислая	Загрязнение	55–65	20–40	30–40	54
	Контроль	90–100	0–10	0–10	97
Дуб черешчатый	Загрязнение	45–50	50–55	40–50	43
	Контроль	80–85	10–15	0–10	91

Основными диагностическими признаками, определяющими жизненное состояние отдельного дерева на пробных площадях, являются степень развития кроны и процент повреждения листьев. В условиях загрязнения в Уфимском промышленном центре деревья имеют сильно разреженные кроны (густота кроны всех изученных ви-

дов не выше 60% от нормы), в условиях Липецкого промышленного центра только у березы повислой сильно разреженные кроны (60–65% от нормы). В насаждениях березы повислой отмечается суховершинность крон. В условиях Уфимского промышленного центра повреждения ассимиляционного аппарата достигают 60% от

всей площади. В условиях Липецкого промышленного центра только у сосны обыкновенной отмечаются значительные повреждения хвои (до 45%), повреждения ассимиляционного аппарата березы повислой и дуба черешчатого – до 15–20%. Повреждения хвои сосны обыкновенной в условиях Уфимского промышленного центра представлены хлорозами и некрозами, отсутствует хвоя старших возрастов (более 5 лет), в условиях Липецкого промышленного центра основные повреждения хвои представлены хлорозами и краевыми некрозами. Листья березы повислой в условиях загрязнения (Уфимский промышленный центр) имеют светло-зеленую окраску, повреждения в основном представлены межжилковыми хлорозами и краевыми некрозами, повреждения листьев насекомыми и фитопатогенными грибами практически отсутствуют. В условиях Липецкого промышленного центра основные повреждения листьев представлены межжилковыми хлорозами. До 50% площади листовых пластинок дуба черешчатого в условиях Уфимского промышленного центра характеризуются наличием хлорозов и некрозов. Некротические зоны, составляющие большинство поражений, сосредоточены как на адаксиальной, так и на абаксиальной поверхности листа. Отмечается бронзовая окраска листьев, а также хлоротичные пятна и некрозы. Поражения преимущественно расположены в средней части листовой пластинки в межжилковых промежутках. Энтомопоражениями затронуто более 35–40% площади листьев дуба черешчатого. В условиях Липецкого промышленного центра степень повреждения ассимиляционного аппарата дуба черешчатого незначительна (до 15%), в большей части это межжилковые хлорозамы. Также в условиях Уфимского промышленного центра отмечается слабая очищаемость стволов от мертвых сучьев (до 55%), в условиях Липецкого промышленного центра только деревья сосны обыкновенной слабо очищены от мертвых сучьев (до 45%).

Анализируя результаты исследований, следует отметить, что в условиях Уфим-

ского промышленного центра, несмотря на меньший объем выбросов промышленных токсикантов (140.6 тыс. т) по сравнению с Липецким промышленным центром (276.4 тыс. т) относительное жизненное состояние насаждений древесных растений существенно ниже и оценивается как «сильно ослабленное» и «ослабленное» (ближе к категории «сильно ослабленное»). Снижение состояния происходит по всем диагностическим признакам (густота кроны, наличие на стволе мертвых сучьев, степень повреждения хвои/листьев). Это можно объяснить различиями в составе промышленных выбросов в атмосферу городов Уфы и Липецка. В структуре выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников в Липецком промышленном центре преобладает монооксид углерода (СО), на долю которого приходится 67% всех выбросов. Известно [10], что монооксид углерода является сравнительно малотоксичным для растений, так как растения обладают способностью окислять его до углекислого газа и связывать затем в фотосинтетическом цикле, а его отрицательное влияние на растения проявляется при сравнительно высоких концентрациях – более 1%. Загрязнение атмосферного воздуха от стационарных источников Уфимского промышленного центра смешанное, в составе преобладают летучие органические соединения (углеводороды, альдегиды и др.), СО, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>, совокупное действие которых приводит к более значительному снижению жизненного состояния изученных древостоев. Следует также отметить, что, несмотря на снижение жизненного состояния насаждений древесных растений в пределах данных промышленных центров, не отмечается полной деструкции насаждений, и данные насаждения продолжают выполнять свои санитарно-защитные функции.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-04-480262)*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ферсман А.Е. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1958. Т. IV. 588 с.
2. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с.
3. Кулагин А.Ю., Тагирова О.В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра: современное состояние в условиях антропогенных воздействий. Уфа: Гилем, 2015. 196 с.
4. Рыбальский Н.Г., Горбатовский В.В., Яковлев А.С. Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации. Центральный округ: Липецкая область. М., 2004. 596 с.
5. Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2015 году: доклад. Липецк, 2016. 260 с.
6. Физико-географическое районирование Башкирской АССР (Репринтное издание. Ученые записки. Т. XVI. Серия географическая. № 1). Уфа: БГУ, 2005. 212 с.
7. Доклад об экологической ситуации на территории Республики Башкортостан в 2015 году. Уфа, 2016. 167 с.
8. Сукачев В.Н. Программа и методика биогеоценотических исследований. М.: Наука, 1966. 333 с.
9. Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
10. Артамонов В.И. Растения и чистота природной среды. М.: Наука, 1986. 172 с.

References

1. Fersman A.E. Selected works. Vol. 4. Moscow, AN SSSR, 1958, 588 p.
2. Kulagin Yu.Z. Woody plants and industrial environment. Moscow, Nauka, 1974, 125 p.
3. Kulagin A.Yu., Tagirova O. V. Forest plantings of the Ufa Industrial Centre: Current state under conditions of anthropogenic impact. Ufa, Gilem, 2015. 196 p.
4. Rybalsky N.G., Gorbatovsky V.V., Yakovlev A.S. Natural resources and the environment of the subjects of the Russian Federation. Central Federal District: Lipetsk Oblast. Moscow, 2004. 596 p.
5. Report on the condition and environmental protection of the Lipetsk Oblast in 2015. Lipetsk, 2016. 260 p.
6. Physiographic zoning of the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic/ Reprint. Uchenye zapiski. Vol. 16. Ser. geographicheskaya, no. 1.). Ufa, BGU, 2005. 212 p.
7. Report on the ecological situation in the Republic of Bashkortostan in 2015. Ufa, 2016. 167 p.
8. Sukachev V.N. Programme and technique of holocoenotic research. Moscow, Nauka, 1966. 333 p.
9. Alekseev V.A. Some issues on diagnostics and classification of forest ecosystems damaged by pollution. Lesnye ekosistemy i atmosfernoe zagryaznenie, Leningrad, Nauka, 1990, pp. 38–54.
10. Artamonov V.I. Plants and environmental purity. Moscow, Nauka, 1986. 172 p.

RELATIVE VITAL CONDITION OF WOODY PLANTINGS  
UNDER INDUSTRIAL POLLUTION

© G.A. Zaytsev<sup>1</sup>, A.Yu. Kulagin<sup>1</sup>, R.V. Urazgildin<sup>1</sup>, O.A. Dubrovina<sup>2</sup>, K.V. Logvinov<sup>2</sup>,  
N.A. Afanasov<sup>2</sup>, A.N. Chaban<sup>2</sup>, R.I. Shaynurov<sup>2</sup>, O.V. Tagirova<sup>3</sup>, K.Z. Amineva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ufa Institute of Biology, RAS,  
69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup> Bunin State University of Elety,  
28, ulitsa Kommunarov, 399770, Lipetsk Oblast, Russian Federation

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

This paper gives the assessment of a relative vital condition of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* Roth) and pedunculate oak (*Quercus robur* L.) plantings under industrial pollution. The research was conducted within two large industrial centres, i.e. Ufa (Republic of Bashkortostan) and Lipetsk (Lipetsk Oblast). A group of petroleum processing plants (Ufa) and the Novolipetsk Steel Company (Lipetsk) were defined as major stationary sources of ambient air pollution. It was established that the relative vital condition of the plantings in question tended to decrease under pollution. The lowest vitality indices were recorded for pedunculate oak within the Ufa Industrial Centre and Scots pine within the Lipetsk Industrial Centre. The highest indices were characteristic of silver birch within the Ufa Industrial Centre and pedunculate oak within the Lipetsk Industrial Centre. It was shown that the relative vital condition of woody plantings under mixed pollution was worse within the Ufa Industrial Centre compared to the Lipetsk Industrial Centre.

Key words: Scots pine, silver birch, pedunculate oak, relative vital condition, Lipetsk Industrial Centre, Ufa Industrial Centre.

УДК 577:636.92

## СОДЕРЖАНИЕ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ В ЭРИТРОЦИТАХ И ПЛАЗМЕ КРОВИ КРОЛИКОВ ПРИ ВВЕДЕНИИ В РАЦИОН ПИРИДОКСИНА И СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК

© М.Н. Кравцова, Г.Ф. Рыжкова

Освещено влияние пиридоксина как в отдельности, так и в комплексе с серосодержащими органическими и неорганическими веществами на показатели аминокислотного состава крови кроликов. Известно, что пиридоксин необходим для взаимного превращения и метаболизма аминокислот, особенно содержащих серу, принимает участие в пересульфировании – переноса сульфгидрильных групп с одного соединения на другое. Так, ферменты, в составе которых присутствует фосфопиридоксаль, способствуют переносу серы с метионина на серин и образованию цистеина. Кроме того, пиридоксин повышает всасывание аминокислот из кишечника в кровоток и их последующую транспортировку в различные органы и ткани. Также он поддерживает, активизирует и ускоряет превращение дофамина в норадреналин, глутаминовой и аспарагиновой кислоты в янтарную кислоту, которые, в свою очередь, существенно повышают скорость энергетических процессов в клетках. Это значит, что под влиянием пиридоксина метаболизм ускоряется, обмен веществ происходит быстрее, следовательно, все клетки обновляются за более короткий промежуток времени, поддерживая молодость и активность организма.

В данном эксперименте установлено, что у животных, которым в качестве добавки вводили пиридоксин как в комплексе с серосодержащими веществами, так и в отдельности, повысилась концентрация аминокислот в плазме крови и эритроцитах, а также содержание всех свободных аминокислот в эритроцитах стало выше, чем в плазме крови. Особенно заметное повышение уровня концентрации аминокислот отмечается у кроликов 3 опытной группы, получавших пиридоксин с метионином. Следовательно, и суммарное значение аминокислот в эритроцитах выше, чем плазме крови; соответственно по группам: заменимых на 25.78; 8.60; 8.75 и 16.43%; незаменимых на 36.74; 27.60; 27.22 и 19.00%.

Ключевые слова: кролики, аминокислоты, пиридоксин, сульфат натрия, эритроциты, плазма крови.

Важнейшим биологически активным веществом, стимулирующим биосинтез серосодержащих аминокислот в организме животных, является пиридоксин [1]. Он является коферментом белков [2], которые участвуют в переработке аминокислот, регулирует усвоение белка [3], принимает участие в регуляции липидного и углеводного обменов, биогенных аминов и других биологически активных соединений [4].

В настоящее время мало изучен вопрос об использовании пиридоксина в сочетании с другими биологически активными веществами, в частности серосодержащими, оказывающими влияние на показатели аминокислотного обмена, продуктивность и качество шерсти кроликов [7].

Из поставленной выше проблемы целью исследований явилось изучение влияния пиридоксина как в отдельности, так и в комплексе с серосодержащими органическими и неорганическими веществами на аминокислотный состав крови.

**Материал и методы.** Материалы исследования составляли результаты плазмы крови и эритроцитов кроликов калифорнийской породы 60–120-дневного возраста. Серия опытов производилась методом групп и периодов в 2015–2016 гг. На опыт было поставлено 40 кроликов в возрасте 60 дней, из которых были сформированы 4 группы по 10 голов в каждой. Животных для исследования подбирали по принципу аналогов с учетом породы, живой массы,

КРАВЦОВА Марина Николаевна, Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова, e-mail: marina\_kravcova@bk.ru

РЫЖКОВА Галина Федоровна – д.б.н., Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова, e-mail: kurskgsha@gmail.com

возраста, телосложения и шерстного покрова [5]. Все они были получены от одного кролика-производителя. Кормление животных производилось по нормам, рекомендованным ВИЖ.

В течение 30-дневного предварительного периода все животные получали одинаковый полноценный рацион, а затем в рационы ввели пиридоксин, пиридоксин с сульфатом натрия и синтетическим dl-метионином. Схема опыта представлена в табл. 1.

Ежемесячно при взятии крови определяли живую массу кроликов методом индивидуального взвешивания. Кровь брали из вены сафена в одно и то же время до утрен-

него кормления с интервалом в 30 дней. Кровь центрифугировали при 3000 оборотах 30 минут. Полученную плазму отсасывали пипеткой и определяли в ней содержание свободных аминокислот на аминокислотном анализаторе марки НІТАСНІЛ-8900 [6].

В оставшихся после отсасывания плазмы эритроцитах прямым способом определяли содержание свободных аминокислот.

**Результаты и обсуждение.** На основании проведенных исследований аминокислотного состава (табл. 2, 3) видно, что в исследуемых образцах аминокислотный состав представлен 18-ю аминокислотами, из которых 8 незаменимых.

Т а б л и ц а 1

*Схема научно-хозяйственного эксперимента*

Группы животных	Количество голов	Условия проведения опытов
Контрольная	10	ОР (комбикорм фирмы «Ушастик»)
Опытные:		
1	10	ОР + 2 мг пиридоксина
2	10	ОР + 2 мг пиридоксина + сульфат натрия 0.1% р-р (500 мл)
3	10	ОР + 2 мг пиридоксина + 0.16 мг метионина

Т а б л и ц а 2

*Концентрация аминокислот в плазме крови кроликов (n=10)*

Аминокислоты, мг %	Группы животных			
	Контрольная	Опытные		
		1	2	3
Заменимые				
Аланин	2.41±0.40	5.89±0.36	6.01±0.38**	6.91±0.36**
Аргинин	1.50±0.10	3.11±0.13***	3.40±0.12***	3.90±0.13***
Аспаргин	1.50±0.13	2.93±0.15**	3.11±0.16**	3.11±0.16**
Аспаргиновая кислота	1.01±0.08	1.15±0.08*	1.27±0.06*	1.32±0.09*
Глицин	9.00±0.17	11.87±0.32**	12.90±0.44**	19.30±0.63***
Глутамин	7.82±0.43	10.50±0.34**	8.60±0.22*	12.8±0.34**
Пролин	1.93±0.09	3.34±0.09***	3.31±0.10***	3.99±0.10***
Серин	2.11±0.06	4.60±0.06	5.07±0.07	5.40±0.11***
Тирозин	0.49±0.08	1.01±0.09*	1.00±0.09*	1.88±0.09
Цистин	1.01±0.08	1.17±0.08*	1.27±0.06*	1.32±0.09*
Σ	28.78±1.54	45.57±1.7	45.94±1.7	53.02±2.01
Незаменимые				
Валин	1.28±0.02	1.81±0.14*	1.73±0.09**	2.20±0.50*
Изолейцин	0.61±0.07	1.11±0.13*	1.23±0.10**	1.43±0.09**
Лейцин	0.71±0.07	1.22±0.07**	1.19±0.04**	1.19±0.04**
Лизин	3.13±0.17	3.24±0.13***	3.44±0.16***	4.14±0.21*
Метионин	0.60±0.07	0.62±0.07*	0.94±0.08**	1.08±0.04**
Треонин	1.10±0.13	1.61±0.09*	1.72±0.02*	1.80±0.11***
Фенилаланин	0.54±0.04	1.11±0.04*	0.69±0.04***	2.12±0.05***
Гистидин	1.00±0.12	1.71±0.07***	1.73±0.07***	1.43±0.07***
Σ	8.97±0.69	12.43±0.74	12.67±0.60	15.39±1.11

Примечание: p<0.05\*, p<0.01\*\*, p<0.001\*\*\*.

Концентрация аминокислот в эритроцитах крови кроликов (n=10)

Аминокислоты, мг %	Группы животных			
	Контрольная	Опытные		
		1	2	3
Заменимые				
Аланин	2.61±0.40	6.09±0.36*	6.09±0.36*	6.81±0.36*
Аргинин	2.35±0.18	3.00±0.13**	3.15±0.12*	3.16±0.13*
Аспаргин	1.69±0.14	3.00±0.15**	3.21±0.15**	3.21±0.15**
Аспаргиновая кислота	1.71±0.14	1.90±0.08	2.33±0.04*	2.00±0.14
Глицин	9.11±0.17	11.88±0.30*	12.99±0.44	19.37±0.63***
Глутамин	7.99±0.41	10.87±0.36**	8.71±0.22*	12.89±0.34**
Пролин	2.13±0.09	4.00±0.09***	4.00±0.09***	4.39±0.10**
Серин	2.24±0.06	4.62±0.06**	5.10±0.07**	5.43±0.11**
Тирозин	0.84±0.06	1.23±0.08	1.15±0.05	2.48±0.07*
Цистин	3.11±0.10	3.27±0.18	3.62±0.16	3.71±0.19
Σ	33.78±1.75	49.86±1.79	50.35±1.70	63.45±2.22
Незаменимые				
Валин	1.48±0.02	1.97±0.14	2.00±0.09*	2.34±0.50
Изолейцин	0.91±0.06	1.56±0.14*	1.73±0.15*	1.88±0.10**
Лейцин	1.50±0.06	1.73±0.07	1.79±0.03**	1.86±0.04**
Лизин	3.20±0.14	3.21±0.13	3.24±0.11	4.04±0.12*
Метионин	0.85±0.07	1.06±0.07	1.27±0.08	1.32±0.04*
Треонин	2.15±0.13	2.31±0.16	2.18±0.12	2.00±0.11
Фенилаланин	1.07±0.04	1.22±0.04	1.00±0.06	2.43±0.08**
Гистидин	3.02±0.10	4.11±0.18*	4.20±0.10*	3.13±0.17
Σ	14.18±0.62	17.17±0.93	17.41±0.19	19.00±1.16

Примечание: p < 0.05\*, p < 0.01\*\*, p < 0.001\*\*\*.

Во всех опытных группах наблюдается повышенная концентрация свободных аминокислот как в плазме крови, так и в эритроцитах по сравнению с контрольной, а также содержание всех аминокислот в эритроцитах выше, чем в плазме крови. Следовательно, и суммарное значение аминокислот в эритроцитах выше, чем в плазме крови; соответственно по группам: заменимых на 25.78; 8.60; 8.75 и 16.43%; незаменимых на 36.74; 27.60; 27.22 и 19.00%.

**Заключение.** На основании вышеизложенного можно сделать следующее заключение, что введение в рацион кроликов калифорнийской породы пиридоксина как в отдельности, так и в комплексе с серосодержащими веществами оказывает положительное влияние на физиологическое состояние животных, что, естественно, положительно скажется на среднесуточных приростах массы тела и повысит качество крольчатины. Повышенная концентрация

аминокислот в крови животных происходит за счет введения в рацион пиридоксина, который, в свою очередь, оптимизирует метаболические процессы в организме, повышает усвоение питательных веществ, усиливает иммунитет, оказывает благоприятное воздействие на работу желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой и нервной систем животных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арнаутов Ю.В., Федосеев А.С. Новый премикс для пушных зверей // Кролиководство и звероводство. 1999. № 5. С. 17–21.
2. Балакирев, Н.А., Тинаева, Е.А. Кролиководство. 2006. С. 123–138.
3. Берестов В.А. Звероводство. 2002. С. 86–89.
4. Иваненко Е.Ф. Биохимия витаминов // Вища школа. 1970. С. 57–109.
5. Кононский О.И. Биохимия животных // Підручник для підготовки фахівців в аграрних вищ.нав.закл. 1996. С. 63.

6. Нидервайзер А., Патаки Г. Новые методы анализа аминокислот, пептидов и белков. М., 1974. С. 237–244.

7. Ротошный, А.Н., Черненко, А.В. Разные системы кормления кроликов // Сборник научных трудов Северо-Кавказского НИИ животноводства. 2012. Т. 1, №1.

### References

1. Arnautov Yu.V., Fedoseev A.S. New premix for fur-bearing animals. Zhurnal "Krolikovodstvo i zverovodstvo", 1999, no. 5, pp. 17–21.

2. Balakirev N.A., Tinaeva E.A. Rabbit breeding. Uchebnyk dlya vuzov. Moscow, 2006, pp. 123–138.

3. Berestov V.A. Fur industry. Uchebnoe posobie dlya vuzov po zooveterinarnoy spetsialnosti. St. Petersburg, Lan, 2002, pp. 86–89.

4. Ivanenko E.F. Biochemistry of the vitamins. Kiev, Vishcha shkola, 1970, pp. 57–109.

5. Kononsky O.I. Animal biochemistry. Uchebnyk dlya podgotovki spetsialistov v agrarnykh vuzakh. Translated from Ukrainian. Kiev, 1996, p. 63.

6. Niederwieser A., Pataki G. New techniques in *amino-acid*, *peptide* and protein analysis. Russian edition. Moscow, 1974, pp. 237–244.

7. Rotoshny A.N., Chernenko A.V. Different rabbit feeding systems. Sbornik nauchnykh trudov Severo-Kavkazskogo NII zhivotnovodstva. 2012, vol. 1, no. 1.

## FREE AMINO ACID CONTENT IN RABBIT ERYTHROCYTES AND BLOOD PLASMA WITH PYRIDOXINE AND SULFUR-CONTAINING ADDITIVES ADMINISTERED INTO THE DIET

© M.N. Kravtsova, G.F. Ryzhkova

Kursk State Agrarian Academy named after Prof. I.I. Ivanov,  
70, ulitsa Karla Marksa, 305021, Kursk, Russian Federation

The paper studies the influence of pyridoxine, either alone or in combination with sulfur-containing organic and inorganic substances, on the amino acid levels in rabbit blood. It is known that pyridoxine is essential for mutual transformation and metabolism of amino acids (transamination, deamination, and decarboxylation), especially those containing sulfur, and takes part in sulfur transfer of sulfhydryl groups from one compound to another. Thus, enzymes which have pyridoxal phosphate in their composition help to transfer sulfur from methionine to serine and form cysteine. In addition, pyridoxine increases the absorption of amino acids from the intestine into the bloodstream and subsequent transportation to various organs and tissues. It also supports, activates and accelerates the conversion of dopamine to norepinephrine as well as glutamic acid and aspartic acid to succinic acid. The resultant substances, in turn, increase significantly the rate of energetic processes in cells. This means that under the influence of pyridoxine metabolic processes occur faster, and thus all the cells replace themselves in a shorter period of time maintaining youth and physical activity of an organism.

This experiment showed that pyridoxine when administered as an additive either alone or in combination with sulfur-containing substances, increased the amino acid concentration in rabbit blood plasma and erythrocytes as well as the free amino acid content in erythrocytes at a higher level than in blood plasma. Especially noticeable increase in the amino acid concentration is observed in rabbits of experimental group 3 which received pyridoxine in combination with methionine. Consequently, the total amino acid content in erythrocytes is higher than in blood plasma: by 25.78; 8.60; 8.75 and 16.43% in the group of nonessential amino acids and by 36.74; 27.60; 27.22 and 19.00% in the group of essential amino acids.

Key words: rabbits, amino acids, pyridoxine, sodium sulfate, erythrocytes, blood plasma.

УДК 579.25

**ШТАММЫ-ДЕСТРУКТОРЫ ФЕНОЛА РОДА *BACILLUS*  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОТОПОВ****© В.В. Коробов, С.Н. Стариков, А.И. Сагитова, Е.Ю. Журенко,  
Н.В. Жарикова, Т.Р. Ясаков, Т.В. Маркушева**

Описаны новые деструкторы фенола *Bacillus simplex* CM53F, *Bacillus subtilis* C4F и *Bacillus subtilis* CN93F, выделенные из смешанных популяций почвенных микроорганизмов, длительно контактировавших с комплексом факторов нефтехимического производства г. Салавата Республики Башкортостан. Принадлежность изолятов к филогенетической подгруппе *Bacillus* была определена по результатам сравнительного анализа основных морфологических и физиолого-биохимических признаков, а также последовательности генов 16S рРНК. В периодической культуре показано, что штаммы *Bacillus simplex* CM53F, *Bacillus subtilis* C4F и *Bacillus subtilis* CN93F способны снижать содержание фенола до 23.6, 30.1 и 25.4% соответственно. Для бактерий вида *Bacillus simplex* возможность использования фенола в качестве источника углерода и энергии установлена впервые. Вновь выделенные штаммы-деструкторы могут быть востребованы в разработках технологий ремедиации среды в техносфере.

Ключевые слова: *Bacillus*, фенол, конверсия

**Введение.** Известно, что микроорганизмы способны использовать фенол в качестве источника углерода и энергии. Наибольшее количество штаммов-деструкторов выявлено среди представителей псевдомонад и родококков, обнаружены деструкторы фенола родов *Caulobacter*, *Comamonas*, *Desulfitobacterium*, *Nocardia* и *Ralstonia*. Ряд авторов указывают на участие в утилизации фенола представителей рода *Bacillus* [1]. Известны способности бактерий этого таксона конвертировать опасные загрязнители промышленного ряда, среди которых фенантроны, бифенилы, нафталин и фталаты. Бациллы, обладающие подвижным образом жизни, отличаются широким распространением в почве, воде и воздухе. Отмечено, что клетки бацилл способны секретировать

ферменты, позволяющие им выживать в постоянно меняющихся условиях окружающей среды, в том числе в агрессивных промышленных экосистемах. В практическом аспекте особый интерес представляют культуры рода *Bacillus*, способные контролировать содержание фенола в условиях комплекса промышленных загрязнителей.

Цель настоящей работы – выявить новые штаммы-деструкторы фенола рода *Bacillus* и установить их свойства.

**Материалы и методы.** Объектом исследований являлись бактериальные штаммы, изолированные из образцов почв и грунтов предприятий нефтехимического комплекса г. Салавата Республики Башкортостан.

КОРОБОВ Владислав Викторович – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
СТАРИКОВ Сергей Николаевич, Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
САГИТОВА Алина Иршатовна, Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
ЖУРЕНКО Евгения Юрьевна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, Учебно-научный центр БГПУ им. М. Акмуллы и УИБ РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
ЖАРИКОВА Наталья Владимировна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
ЯСАКОВ Тимур Рамилевич – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: yasakov@anrb.com  
МАРКУШЕВА Татьяна Вячеславовна – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, Учебно-научный центр БГПУ им. М. Акмуллы и УИБ РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru

Выделение чистых культур и их идентификацию осуществляли по совокупности культурально-морфологических и физиолого-биохимических признаков, а также по результатам сравнительного анализа последовательностей генов 16S рНК, как описано ранее [2, 3].

Динамику роста деструкторов изучали в периодической культуре на синтетической питательной среде, содержащей (г/л):  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 1,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 5,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.05,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.005,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 0.001,  $\text{ZnSO}_4$  – 0.0008; pH среды 6.8–7.0. В качестве единственного источника углерода и энергии в среды вносили фенол до конечной концентрации 100 мг/л. Культивирование бактерий проводили в термостатированных установках УВМТ-12-250 при 28°C. Для измерения оптической плотности клеточной суспензии ( $\text{OD}_{590}$ ) использовали метод нефелометрии. Замеры осуществляли при длине волны 590 нм в трех повторях. Раствором сравнения являлась стерильная синтетическая питательная среда.

При определении фенолов в культуральной жидкости пользовались стандартным фотометрическим методом. Количество фенолов определяли по градуировочному графику, построенному в стандартных условиях, как описано ранее [4].

**Результаты и обсуждение.** В ряде работ было показано, что микроорганизмы способны контролировать содержание загрязнителей в окружающей среде. В этом контексте особое внимание привлекают высокоустойчивые ко многим неблагоприятным воздействиям (повышенной темпера-

туре, pH и солености окружающей среды) аэробные представители филогенетической подгруппы *Bacillus*, способные занимать лидирующее положение в разных экосистемах.

Исследование морфологических признаков деструкторов рода *Bacillus*, выделенных из смешанных популяций почвенных микроорганизмов промзоны г. Салавата показало, что на момент анализа клетки культур представляли собой палочки, имеющие положительную окраску по Граму. На МПА наблюдались беловатые и кремевые непрозрачные колонии. Для изолятов был характерен аэробный рост при оптимальном pH среды 6.8–7.2 в диапазоне температур от плюс 22 до 41°C.

Видовая идентификация штаммов была проведена по результатам сравнительного анализа практически полноразмерных копий (1492 н.п.) гена 16S рНК. Обнаруженный уровень сходства последовательностей генов 16S рНК позволил идентифицировать вновь выделенные культуры как *B. simplex* CM53F и *B. subtilis* CH93F [5, 6]. Штамм С4F, вошедший в единый кластер с представителями *B. subtilis*, включая типовой штамм *B. subtilis* DSM10<sup>T</sup> (AJ276351), с уровнем гомологии свыше 99.9%, был отнесен к бациллярной линии протеобактерий *B. subtilis* С4F.

Исследование динамики изменения концентрации фенола в культуральной жидкости было проведено в модельной системе при использовании фенола *B. simplex* CM53F, *B. subtilis* С4F и *B. subtilis* CH93F в качестве единственного источника углерода и энергии (табл.).

Т а б л и ц а

Содержание фенола в процессе роста штаммов *B. simplex* CM53F, *B. subtilis* С4F и *B. subtilis* CH93F в периодической культуре

Штамм	Содержание фенола (%) в культуральной жидкости (сутки)			
	0	2	5	6
<i>Bacillus simplex</i> CM53F	100	43.5	26.3	
<i>Bacillus subtilis</i> С4F	100	40.2	34.5	30.1
<i>Bacillus subtilis</i> CH93F	100	25.4		

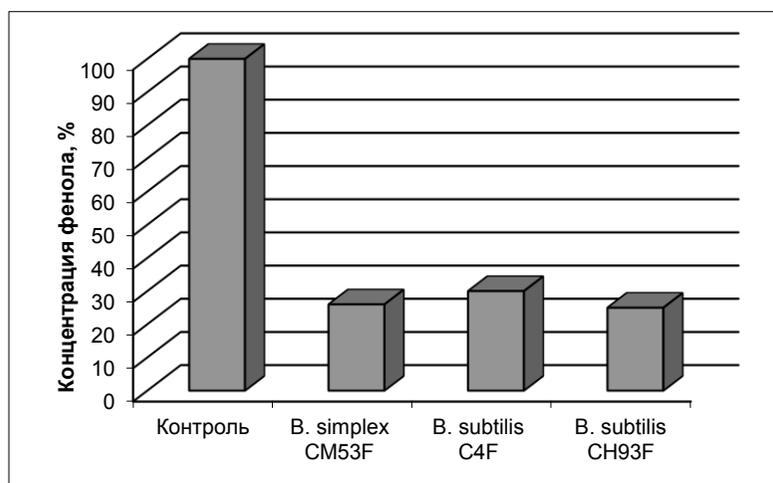


Рис. Остаточное содержание фенола в культуральной жидкости штаммов *B. simplex* CM53F, *B. subtilis* C4F и *B. subtilis* CH93F

Из данных табл. видно, что содержание фенола в культуральной жидкости штамма *B. simplex* CM53F уменьшалось на 2-е сутки культивирования на 56.5%, к 5-м суткам на 73.7% от начальной концентрации. Культура *B. subtilis* C4F снижала количество фенола ко 2-м суткам на 59.8%, а к 6-м – на 69.9% от контроля. Концентрация фенола в культуральной жидкости *B. subtilis* CH93F убывала ко 2-м суткам на 74.6%.

Сравнительный анализ ассимиляции фенола обнаружил то, что изучаемые деструкторы обладают различной активностью в отношении субстрата. Данные, суммирующие оценку эффективности утилизации загрязнителя, приведены на рис. Из табл. и рис. видно, что культура *B. subtilis* CH93F конвертирует фенол более эффективно: до 74.6% в течение 2-х суток. Другие культуры воздействуют на фенол существенно медленнее: культура *B. simplex* CM53F использует 73.7% за 5 суток, а культура *B. subtilis* C4F – 69.9% в течение 6 суток.

Принимая во внимание приведенное выше, следует заметить, что ранее было показано, что фенол способны утилизировать несколько штаммов рода *Bacillus*. Штамм *B. cereus* Jp-A, выделенный из активного ила, деградировал фенол в концентрации 5, 10 и 15 ммоль·л<sup>-1</sup>, а концентрация 30 ммоль·л<sup>-1</sup> ингибировала деятельность штамма. Banerjee и Ghoshal выделили ги-

пертермофильные культуры *B. cereus* MTCC 9817 штамм AKG1 и *B. cereus* MTCC 9818 штамм AKG2. Авторами отмечено, что температурный оптимум для этих изолятов составлял 37°C, а pH 7.0 для AKG1 и pH 7.5 для штамма AKG2 [7]. Штамм *B. brevis* способен утилизировать фенол [8]. Gunther и др. описали особенности метаболизма фенола и алкилфенола *B. pumilis*. Lang и другие выделили штамм *B. benzoovorans* 5391, способный использовать фенол в концентрации 500 мг/л в качестве единственного источника углерода [9]. Описана деградация фенола 0.1 mM *B. thermoglucosidasius* A7 и *B. Stearothermophilus* BR219, утилизовавших фенол с образованием катехола и 2-гидроксимуконного полуальдегида [10].

Согласно имеющимся публикациям, к бактериям рода *Bacillus*, способным метаболизировать фенол, относится несколько видов: *B. subtilis*, *B. benzoovorans*, *B. brevis*, *B. cereus*, *B. pumilis*, *B. stearothermophilus* и *B. thermoglucosidasius* [3, 7, 8, 10]. Указанное выше показывает, что для культур *B. simplex* ранее не была установлена возможность использования фенола в качестве источников углерода и энергии.

Обсуждая полученные данные, также следует отметить, что деструкторы фенола рода *Bacillus* были обнаружены в составе микробных популяций двух техногенных экосистем РБ. Так, в ходе изучения дест-

рукторов Северного промышленного узла г. Уфы авторами этой работы был обнаружен *B. subtilis* 16 – деструктор фенола, 2,4-дихлорфенола и 2,4-Д.

Кроме этого, следует также указать, что ранее авторами работы была показана возможность использования культурами *B. simplex* CM53F и *B. subtilis* CH93F 4-хлорфеноксиуксусной, 2,4-дихлорфеноксиуксусной и 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной кислот в качестве источников углерода и энергии [5, 6]. Результаты настоящего исследования существенно расширяют область применения этих штаммов в области конверсии загрязнителей промышленного ряда.

Таким образом, из естественной популяции почвенных микроорганизмов, подвергавшейся длительному воздействию нефтехимического производства, выделены принадлежащие к бациллярной линии протеобактерий штаммы *B. simplex* CM53F, *B. subtilis* C4F и *B. subtilis* CH93F, способные ассимилировать молекулы фенола. Новые деструкторы фенола могут быть использованы в разработках технологий ремедиации окружающей среды в техносфере.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маркушева Т.В., Журенко Е.Ю., Кусова И.В. Бактерии-деструкторы фенола и его хлорированных производных. Уфа: Гилем, 2002. 108 с.
2. Журенко Е.Ю., Коробов В.В., Жарикова Н.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркушева Т.В. Особенности структуры микробиоты техногенной экосистемы Северного промузла РБ: бактерии-деструкторы фенола и 2,4-дихлорфенола // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5(2). С. 172–174.
3. Коробов В.В., Жарикова Н.В., Анисимова Л.Г., Ясаков Т.Р., Журенко Е.Ю., Кусова И.В., Маркушева Т.В. *Bacillus subtilis* В-1742Д – деструктор фенола и 2,4-дихлорфенола // Известия Уфимского научного центра РАН. 2011. № 3–4. С. 52–57.
4. Коробов В.В., Маркушева Т.В., Кусова И.В., Журенко Е.Ю., Галкин Е.Г., Жарикова Н.В., Гафиятова Л.Р. Штамм бактерий *Serratia marcescens* В-6493 – деструктор фенола и 2,4-

дихлорфенола // Биотехнология. 2006. № 2. С. 63–65.

5. Коробов В.В., Жарикова Н.В., Журенко Е.Ю., Ясаков Т.Р., Сагитова А.И., Гаврильченко А.Г., Маркушева Т.В. *Bacillus simplex* CM53F – новый штамм-деструктор хлорфеноксиуксусной кислоты // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 56–61.
6. Коробов В.В., Жарикова Н.В., Журенко Е.Ю., Ясаков Т.Р., Сагитова А.И., Гафаров Р.Ф., Стариков С.Н., Маркушева Т.В. *Bacillus subtilis* CH93F – штамм-деструктор хлорфеноксиуксусной кислоты // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4 (1). С. 71–73.
7. Banerjee A., Ghoshal A.K. Isolation and characterization of hyper phenol tolerant *Bacillus* sp. from oil refinery and exploration sites // J. of Hazardous Materials. 2010. V. 176. P. 85–91.
8. Arutchelvan V., Kanakasabai V., Elango R., Nagarajan S., Muralikrishnan V. Kinetics of high strength phenol degradation using *Bacillus brevis* // J. Hazard Mater. 2006. V. 129. P. 216–222.
9. Lang E. Diversity of bacterial capabilities in utilizing alkylated benzenes and other aromatic compounds // Lett. Appl. Microbiol. 1996. V. 23, № 4. P. 257–260.
10. Kirchner H., Westphal M., Willem J.H. Phenol Hydroxylase from *Bacillus thermoglucosidasius* A7, a Two-protein Component Monooxygenase with a Dual Role for FAD // J. Biol. Chem. 2003. V. 278. P. 47545–47553.

## References

1. Markusheva T.V., Zhurenko E.Yu., Kusova I.V. Bacteria as degraders of phenol and its chlorinated derivatives. Ufa, Gilem, 2002. 108 p.
2. Zhurenko E.Yu., Korobov V.V., Zharikova N.V., Yasakov T.R., Anisimova L.G., Markusheva T.V. Microbiota structural features of the technogenic ecosystem in the northern industrial hub of the Republic of Bashkortostan: Phenol and 2,4-dichlorophenol degrading bacteria. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk, 2011, vol 13, no. 5 (2), pp. 172–174.
3. Korobov V.V., Zharikova N.V., Anisimova L.G., Yasakov T.R., Zhurenko E.Yu., Kusova I.V., Markusheva T.V. Phenol and 2,4-dichlorophenol degrading bacterium *Bacillus subtilis* B-1742D. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 2011, no. 3–4, pp. 52–57.
4. Korobov V.V., Markusheva T.V., Kusova I.V., Zhurenko E.Yu., Galkin E.G., Zharikova N.V., Gafiyatova L.R. Phenol and 2,4-dichlorophenol degrading bacterial strain *Serratia marcescens* B-64. Biotekhnologiya, 2006, no. 2, pp. 63–65.

5. Korobov V.V., Zharikova N.V., Zhurenko E.Yu., Yasakov T.R., Sagitova A.I., Gavrilchenko A.G., Markusheva T.V. New chlorophenoxyacetic acid-degrading bacterium *Bacillus simplex* CM53F. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2015, no. 4, pp. 56–61.

6. Korobov V.V., Zharikova N.V., Zhurenko E.Yu., Yasakov T.R., Sagitova A.I., Gafarov R.F., Starikov S.N., Markusheva T.V. Chlorophenoxyacetic acid-degrading bacterial strain *Bacillus subtilis* CH93F. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2015, no. 4 (1), pp. 71–73.

7. Banerjee A., Ghoshal A.K. Isolation and characterization of hyperphenol tolerant *Bacillus* sp. from oil refinery and exploration sites. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, vol. 176, pp. 85–91.

8. Arutchelvan V., Kanakasabai V., Elangovan R., Nagarajan S., Muralikrishnan V. Kinetics of high strength phenol degradation using *Bacillus brevis*. *J. Hazard. Mater.*, 2006, vol. 129, pp. 216–222.

9. Lang E. Diversity of bacterial capabilities in utilizing alkylated benzenes and other aromatic compounds. *Lett. Appl. Microbiol.*, 1996, vol. 23, no. 4, pp. 257–260.

10. Kirchner H., Westphal M., Willem J.H. Phenol hydroxylase from *Bacillus thermoglucosidasius* A7, a two-protein component monooxygenase with a dual role for FAD. *J. Biol. Chem.*, 2003, vol. 278, pp. 47545–47553.

---

## PHENOL DEGRADING STRAINS OF THE GENUS *BACILLUS* ISOLATED FROM INDUSTRIAL ENVIRONMENTS

© V.V. Korobov<sup>1</sup>, S.N. Starikov<sup>1</sup>, A.I. Sagitova<sup>1</sup>, E.Yu. Zhurenko<sup>1,2</sup>,  
N.V. Zharikova<sup>1</sup>, T.R. Yasakov<sup>1</sup>, T.V. Markusheva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Ufa Institute of Biology, RAS,  
69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup> Educational and Scientific Centre,  
Akmullah Bashkir State Pedagogical University and Ufa Institute of Biology,  
69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

This paper describes new phenol degrading strains – *Bacillus simplex* CM53F, *Bacillus subtilis* C4F and *Bacillus subtilis* CH93F isolated in the town of Salavat of the Republic of Bashkortostan from mixed colonies of soil bacterial populations that experienced long-term petrochemical effects. The affinity of these isolates to the genus *Bacillus* was revealed through comparative analysis of morphological, physiological and biochemical features and also 16S rRNA gene sequence. As was shown by periodic culturing, *Bacillus simplex* CM53F, *Bacillus subtilis* C4F and *Bacillus subtilis* CH93F were capable of reducing the phenol level to 23.6%, 30.1% and 25.4%, respectively. The ability of *Bacillus simplex* CH53F to use phenol as the sole source of carbon and energy has not been previously described. The newly isolated bacterial degraders can be used for the development of environmental remediation technologies.

Key words: *Bacillus*, phenol, conversion.

УДК 582.32:502.75

## К БРИОФЛОРЕ СТЕПЕЙ БАШКИРСКОГО ЗАУРАЛЬЯ

© С.М. Азнабаева, Э.З. Баишева

В степях Башкирского Зауралья выявлено 45 видов мохообразных (42 вида листостебельных мхов и 3 печеночника). Ведущие семейства бриофлоры: *Grimmiaceae* (8 видов), *Pottiaceae* (6), *Dicranaceae* (5), *Brachytheciaceae* (5), *Bryaceae* (3). Приведены полный список видов и результаты экологического анализа бриофлоры. Видовое богатство мохообразных в горных степях на 70% выше, чем в равнинных степях. Это связано с широким распространением в горных степях каменистых выходов, на которых отмечены значительное количество эпилитных видов. Преобладают виды с жизненной стратегией колонистов, которые составляют 47.7% видов (в том числе 40% среди напочвенных видов и 49% среди эпилитов). Анализ жизненных форм показал, что среди напочвенных мхов важную роль играют виды с формой роста настоящая дерновина (Tf), которая способствует сохранению влаги и характерна для мест с сухим и жарким климатом. Среди эпилитных мхов нет явного преобладания какой-либо одной формы роста, что отражает разнообразие экологических условий этих местообитаний. Ксерофитные виды являются постоянными членами степных ценозов и составляют 35–52% бриофлор разных природных районов. Роль ксеромезофитов также существенна (24–27%), но эти виды, как правило, имеют низкое постоянство в степях. Выявлены местонахождения редких видов *Dicranum dispersum*, *D. muehlenbeckii*, *Grimmia anodon* и *Syntrichia montana*. Сравнение данных по бриофлоре степей Башкирского Зауралья и бассейна Дона, Алтая, Волгоградской и Оренбургской областей показало низкое сходство бриоценофлор. Группа общих видов, имеющих высокое постоянство в степях Европейской части России и Сибири (*Syntrichia ruralis*, *Abietinella abietina*, *Bryum argenteum*, *Bryum caespitium*, *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum piliferum*), очень немногочисленна, а остальной состав бриоценофлор может сильно различаться как между регионами, так и в степях разных типов в пределах одного района исследования.

Ключевые слова: мохообразные, степь, лесостепь, Башкирское Зауралье, редкие виды.

Башкирское Зауралье (БЗ) является одним из наиболее слабо изученных в бриологическом отношении регионов Республики Башкортостан (РБ). Сведения о бриофлоре данной территории немногочисленны [1]. Район исследования включает низкогорья и предгорья восточного склона Южного Урала, а также Сакмаро-Таналыкскую и Кизило-Уртызымскую равнины. В административном отношении в территорию частично или полностью входят Учалинский, Абзелиловский, Баймакский и Хайбуллинский районы РБ. Территория относится к западному крылу Магнитогорского мегасинклинория, сложена вулканическими и метаморфизированными породами (гранитами, гнейсами, порфиридами), претерпевшими в позднем палеозое подвиж-

ки осадочными породами палеозоя (кремнисто-глинистыми сланцами, яшмами, известняками). Амплитуда абсолютных высот – 350–600 м над ур.м. Преобладающими типами почв являются черноземы (выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные и солонцеватые), в полосе расчлененных предгорий распространены серые лесные почвы, в понижениях – лугово-черноземные и болотные типы почв. Климат континентальный. Зима холодная и малоснежная, лето теплое и засушливое. Среднегодовая температура воздуха плюс 1.5–2.0°C, средняя температура января минус 15.5–16°C, июля плюс 18.0–19.5°C, средняя продолжительность безморозного периода 65–120 дней, среднегодовое количество осадков 350–400 мм, средняя высота снежно-

го покрова 30–45 мм. Часты засухи и суховеи. Растительность представлена лесостепными и степными ассоциациями [2].

В БЗ широко распространены степные сообщества, большинство из которых в различное время подвергалось распашке. Естественные степи из ковылей, типчака и разнотравья (в том числе и различные варианты эталонных каменистых степей) сохранились небольшими участками на склонах увалов и сопок. В соответствии с природным районированием РБ [3], БЗ относится к Лесостепному району восточного склона Южного Урала, в котором представлены горные варианты степей, и Зауральскому степному району, в котором преобладают равнинные степи. Природные условия этих районов существенно различаются, поэтому характеристика их степного бриокомпонента дана отдельно (табл. 1). В северной части восточных предгорий Южного Урала, в Учалинском районе степные сообщества встречаются небольшими участками между массивами березовых и осиновых лесов, представлены разными вариантами луговых и каменистых степей, прерываемых скалистыми обнажениями горных вершин и сопок. Южнее, в предгорьях хребтов Крыкты и Ирендык, сохранившиеся фрагменты разнотравных степей контактируют с участками лугов, березовых колочных лесов и зарослями кустарников. По мере продвижения на юг и восток в растительном покрове Зауральского степного района доля лугов и степей возрастает, лесные и кустарниковые группировки занимают незначительные площади. В понижениях распространены галофитные варианты степей [3].

В степях и на остепненных лугах БЗ (табл. 1) выявлены 45 видов мохообразных, относящихся к 26 родам и 21 семейству (в том числе 42 вида мхов и 3 печеночника). Ведущие семейства: *Grimmiaceae* (8 видов), *Pottiaceae* (6), *Dicranaceae* (5), *Brachytheciaceae* (5), *Bryaceae* (3).

Основными субстратами, на которых растут мохообразные в степных сообществах, являются почва и выходы камней. На почве отмечено 15 видов. Наиболее часто встреча-

ются *Bryum argenteum*, *B. caespiticium*, *Abietinella abietina*, *Rhytidium rugosum*, *Syntrichia ruralis*, *Polytrichum piliferum* и *Ceratodon purpureus*. На каменистых субстратах обнаружены 37 видов, вдвое больше, чем на почве, что связано с разнообразием микроместообитаний. Виды были отмечены непосредственно на поверхности камней и скальных выходов (*Grimmia longirostris*, *G. laevigata*, *G. muehlenbeckii*, *Schistidium apocarpum*, *S. papillosum*, *S. submuticum*, *Orthotrichum rupestre*, *Tortella tortuosa* и др.), на мелкозем, покрывающем камни (*Bryum caespiticium*, *Abietinella abietina*, *Hypnum cupressiforme*, *Pohlia cruda*), в расщелинах камней (*Bryum argenteum*, *Frullania dilatata*, *Bryum capillare* и др.). Видовое богатство мохообразных степных сообществ Лесостепного района восточного склона Южного Урала на 70% выше, чем в степях Зауральского степного района. Разнообразие бриокомпонента горных степей в основном складывается из видов, растущих на каменистых субстратах. Это облигатные эпилиты (*Grimmia anodon*, *Hedwigia ciliata*, *Tortella tortuosa*, виды р. *Schistidium* и др.), а также лесные виды (*Dicranum montanum*, *D. scoparium*, *Cephaloziella divaricata*, *Platygyrium repens* и др.), которые могут расти на почве, гнилой древесине, а также изредка встречаются на камнях. Они попадают на каменистые выходы остепненных участков, расселяясь из близлежащих участков леса, либо, что более вероятно, сохранились с тех пор, когда на месте современных степных сообществ росли леса. Результаты экологического анализа бриофлоры степей БЗ представлены в табл. 2. Анализ жизненных стратегий видов, выделенных по системе Н. During [4], показал, что в степях преобладают нацеленные на активное расселение и освоение новых местообитаний виды-колонисты (*Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*, *Pseudoleskeella nervosa*, *Grimmia longirostris* и др.) – 47.7% бриофлоры степей (в том числе 40% среди напочвенных видов и 49% среди эпилитов). Виды со стратегией стайеров, имеющие низкую репродуктивную активность (*Abietinella*

*abietina*, *Rhytidium rugosum*, *D. muehlenbeckii* и др.), находятся на втором месте. Участие видов со стратегией челноков, имеющих крупный размер спор или размножающихся преимущественно вегетативно, менее значи-

тельно. В основном это типичные лесные виды, которые изредка встречаются на каменистых выходах на участках горных степей, окруженных лесами.

Т а б л и ц а 1

Мохообразные степные сообщества Башкирского Зауралья

Виды	Типы субстратов		Природные районы		Типы стратегий	Жизненные формы
	Почва	Камни	I	II		
1	2	3	4	5	6	7
<b>Печеночники</b>						
<i>Cephaloziella divaricata</i>	Rar		Rar		C	Ms
<i>Frullania dilatata</i>	Rar		Rar		L	Ms
<i>Ptilidium pulcherrimum</i>		Rar	Rar		L	Mr
<b>Мхи</b>						
<i>Abietinella abietina</i>	Com	Rar	Sp	Com	Ps	We
<i>Brachythecium albicans</i>		Rar	Rar		Ps	Mr
<i>Brachythecium salebrosum</i>	Rar			Rar	C	Mr
<i>Bryum argenteum</i>	Com	Com	Sp	Com	C	Tf
<i>Bryum caespiticium</i>	Com	Sp	Sp	Com	C	Tf
<i>Bryum capillare</i>		Rar		Rar	C	Tf
<i>Ceratodon purpureus</i>	Sp	Com	Com	Sp	C	Tf
<i>Cynodontium strumiferum</i>		Rar	Rar		C	Cu
<i>Dicranum dispersum</i>		Rar	Rar		L	Tuft
<i>Dicranum montanum</i>		Rar	Rar		Ps	Tuft
<i>Dicranum muehlenbeckii</i>	Rar	Rar	Rar	Rar	Ps	Tuft
<i>Dicranum scoparium</i>		Rar	Rar		Ps	Tuft
<i>Dicranum spadiceum</i>		Rar	Rar		Ps	Tf
<i>Eurhynchiastrum pulchellum</i>		Rar		Rar	Ps	Mr
<i>Grimmia anodon</i>		Rar	Rar		C	Cu
<i>Grimmia laevigata</i>		Sp	Rar	Rar	C	Cu
<i>Grimmia longirostris</i>		Com	Sp	Sp	C	Cu
<i>Grimmia muehlenbeckii</i>		Rar	Rar	Rar	C	Cu
<i>Hedwigia ciliata</i>		Com	Sp	Sp	L	Mr
<i>Hypnum cupressiforme</i>		Rar	Rar		Ps	Ms
<i>Leucodon sciuroides</i>		Rar	Rar		L	Mr
<i>Orthotrichum rupestre</i>		Rar	Rar		L	Cu
<i>Platygyrium repens</i>		Rar	Rar		C	Ms
<i>Pohlia cruda</i>	Rar		Rar		L	Tf
<i>Polytrichum juniperinum</i>		Rar	Rar	Rar	Ps	Tf
<i>Polytrichum piliferum</i>	Com		Sp	Sp	Ps	Tf
<i>Pseudoleskeella nervosa</i>	Rar			Rar	C	Mr
<i>Pseudoleskeella tectorum</i>		Rar		Rar	C	Mr
<i>Pterygoneurum ovatum</i>	Rar			Rar	L	Ts
<i>Pterygoneurum subsessile</i>	Rar			Rar	L	Ts
<i>Rhytidium rugosum</i>	Sp	Com	Com	Sp	Ps	We
<i>Sanionia uncinata</i>		Rar	Rar		C	Mr
<i>Schistidium apocarpum</i>		Rar		Rar	C	Cu
<i>Schistidium papillosum</i>		Rar	Rar		C	Cu

1	2	3	4	5	6	7
<i>Schistidium submuticum</i>		Rar	Rar		C	Cu
<i>Schistidium tenuinerve</i>		Rar	Rar		C	Cu
<i>Sciuro-hypnum populeum</i>		Rar	Rar		Ps	Mr
<i>Sciuro-hypnum starkei</i>		Rar	Rar		C	Mr
<i>Syntrichia montana</i>		Rar	Rar		Ps	Tuft
<i>Syntrichia ruralis</i>	Sp	Com	Sp	Sp	Ps	Tf
<i>Tortella inclinata</i>		Rar	Rar		C	Tuft
<i>Tortella tortuosa</i>		Rar	Rar		Ps	Tuft
Всего видов:	15	37	37	21	45	45

Примечание: природные районы: I – Лесостепной район восточного склона Южного Урала, II – Зауральский степной район. Частота встречаемости: Rar – редко, Sp – спорадически, Com – часто.

Для мохообразных понятия «форма роста», «жизненная форма» и «биоморфа», являются синонимами и отражают связь морфологического строения дерновины с экологическими условиями местообитания. Спектр жизненных форм определяется условиями влажности, температурного режима, освещенности и других характеристик местообитания [5]. В группе степных напочвенных мхов важную роль играют виды с формой роста настоящая дерновина, которая способствует сохранению влаги в плотно прижатых к друг другу побегах и характерна для мест с сухим и жарким климатом [6]. Среди эпилитных мхов нет явного преобладания какой-либо одной формы роста, что, вероятно, отражает разнообразие экологических условий охарактеризованных выше микростообитаний.

Анализ экологических групп видов по отношению к влажности показал, что в степях высока доля ксерофитов (*Abietinella abietina*, *Grimmia anodon*, *Pseudoleskeella tectorum*, *Schistidium tenuinerve*, *Syntrichia ruralis* и др.) – 35–52% в разных природных районах. В общем видовом составе роль ксеромезофитов (*Brachythecium salebrosum*, *Dicranum muehlenbeckii*, *Leucodon sciuroides*, *Pseudoleskeella nervosa*, *Tortella inclinata*) также существенна (24–27%), но эти виды, как правило, имеют низкое постоянство в степях.

По отношению к фактору освещенности в степях высока доля гелиофитов (*Bryum caespiticium*, *Grimmia anodon*, *G. laevigata*, *G. longirostris*, *Orthotrichum rupestre*, *Schistidium apocarpum*, *S. papillosum*,

*S. submuticum*, *Syntrichia montana*) и гелиосциофитов (*Cynodontium strumiferum*, *Dicranum montanum*, *Dicranum muehlenbeckii*, *Eurhynchiastrum pulchellum*, *Leucodon sciuroides*) – более 80%. Данные результаты сходны с материалами М.Ф. Бойко по бриофлоре степной зоной Европы [5], где на долю гелиофитов приходится 40% бриофлоры.

Географический анализ бриофлоры степей БЗ по широтным элементам показал, что в формировании бриофлоры степей основное участие принимают плюризональные виды (44.2% в Лесостепном районе восточного склона Южного Урала (I) и 52.4% – в Зауральском степном районе (II)), также значительна роль этого элемента среди бриофитов, растущих на почве (60%). Доля арктобореально-монтанных видов, распространенных в Арктике, бореальной зоне и горах более южных широт отражает широкую представленность в степях БЗ каменистых субстратов и составляет 29.7% среди эпилитных видов, 27% в степной бриофлоре района I и 23.8% – района II. В спектре долготных элементов природных районов пропорции плюрегиональных видов (40.5–47.6%) и голарктических (омниголарктических) видов (42.8–48.6%) приблизительно равны.

В группу редких видов, отмеченных в степных стообществах БЗ, входят *Dicranum dispersum* и *Dicranum muehlenbeckii* – монтанные виды с дизъюнктивным ареалом, распространенные в горах центральной Европы, на Кавказе, Урале и горах Сибири, а также аридные виды *Grimmia anodon* и *Syntrichia montana*.

Спектр бриофлоры степей Башкирского Зауралья  
(в % от видового богатства субстратных групп и природных районов)

Названия групп	Типы субстратов		Природные районы		Число видов
	Почва	Камни	I	II	
Типы стратегий					
колонисты (C)	40	48.6	43.2	52.4	21
челноки (L)	26.7	13.5	18.9	14.3	9
стайеры (Ps)	33.3	37.8	37.8	33.3	15
Жизненные формы					
настоящая дерновина (Tf)	40	18.9	21.6	33.3	9
рыхлая дерновина (Ts)	13.3	–	–	9.5	2
подушка (Cu)	–	27	24.3	19	10
подушковидная дерновина (Tuft)	6.7	18.9	18.9	4.8	7
вертикально-ветвистый ковер (Mg)	13.3	24.3	18.9	23.8	11
гладкий ковер (Ms)	13.3	5.4	10.8	–	4
сплетение (We)	13.3	5.4	5.4	9.5	2
Экогруппы по отношению к освещению					
гелиофиты	33.3	37.8	37.8	47.6	16
гелиосциофиты	33.3	48.6	43.2	38.1	21
сциофиты	13.3	8.1	13.5	–	5
индифферентные к освещению	20	5.4	5.4	14.3	3
Экогруппы по отношению к влажности					
ксерофит	33.3	37.8	35.1	52.4	17
ксеромезофит	26.7	27	27	23.8	12
мезофит	20	27	29.7	9.5	13
индифферентные виды	20	8.1	8.1	14.3	3
Всего:	15	37	37	21	45

Примечание: природные районы: I – Лесостепной район восточного склона Южного Урала, II – Зауральский степной район.

Сравнение с материалами других исследователей [7–10] показало, что бриокомпонент степей БЗ по общему видовому богатству (37 видов в горных степях и 21 вид в равнинных степях) в целом сопоставим с данными по другим регионам (табл. 2). В то же время в степях БЗ отсутствуют *Weissia longifolia*, *Brachythecium glareosum*, *Funaria hygrometrica* и некоторые другие виды, характерные для степей Европейской части России, но встречается большая группа эпилитных видов (*Grimmia longirostris*, *G. muehlenbeckii*, *Hedwigia ciliata*, *Dicranum spadicum* и др.), которые отражают широкое распространение скальных выходов и соседство с лесами. Некоторое сходство бриокомпонента степей БЗ было выявлено с бриоце-

нофлорами петрофитных степей Алтая [9] и степями Оренбургской области [10], но значения коэффициента Жаккара были невысокими и не превышали 0.2. Это связано с тем, что группа общих видов, имеющих высокое постоянство в степях Европейской части России и Сибири (*Syntrichia ruralis*, *Abietinella abietina*, *Bryum argenteum*, *Bryum caespiticium*, *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum piliferum*) очень немногочисленна, а остальной состав бриоценофлор может сильно различаться как между регионами, так и в степях разных типов в пределах одного района исследования.

Авторы выражают искреннюю признательность Е.А. Игнатовой за помощь в определении ряда видов.

ЛИТЕРАТУРА

References

1. Баишева Э.З., Габитова С.М. К бриофлоре Башкирского Зауралья // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 3. С. 80–84.
2. Атлас Республики Башкортостан. Уфа, 2005. 420 с.
3. Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан. Уфа, 2010. 414 с.
4. During H.J. Ecological classifications of bryophytes and lichens // Bryophytes and lichens in a changing environment. Oxford, 1992. P. 1–31.
5. Бойко М.Ф. Мохообразные в ценозах степной зоны Европы. Херсон, 1999. 160 с.
6. Рыковский Г.Ф. Биоморфы бриевых мхов во флоре Беларуси // Ботаника (исследования). Минск, 2011. Вып. 36. С. 126–137.
7. Хмелев К.Ф., Попова Н.Н. Флора мохообразных бассейна Среднего Дона. Воронеж, 1988. 168 с.
8. Сурагина С.А. Листостебельные мхи Волгоградской области (Юго-Восток Европейской России) // Arctoa. 2001. Т. 10. С. 45–70.
9. Писаренко О.Ю., Королюк А.Ю. Мохообразные в степных сообществах Алтайского края // Ботанический журнал. 2003. Т. 88, № 2. С. 74–80.
10. Афонина О.М., Золотов В.И., Нотов А.А. К флоре мхов Оренбургского государственного природного заповедника // Степи Северной Евразии: Матлы IV междунар. симпоз. Оренбург, 2006. С. 71–75.

1. Baisheva E.Z., Gabitova S.M. On the bryophyte flora of the Bashkir Trans-Urals. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, 2013, vol. 15, no. 3, pp. 80–84.
2. Atlas of the Republic of Bashkortostan. Ufa, 2005. 420 p.
3. List of specially protected natural areas in the Republic of Bashkortostan. Ufa, 2010. 414 p.
4. During H. J. Ecological classifications of bryophytes and lichens. In: Bryophytes and lichens in a changing environment. Oxford, 1992, pp.1–31.
5. Boyko M.F. Bryophyta in coenoses of the European steppe zone. Kherson, 1999. 160 p.
6. Rykovsky G.F, Bryidae biomorphs in the flora of Belarus. Botanika (issledovaniya). Minsk, 2011, issue 36, pp. 126–137.
7. Khmelev K.F., Popova N.N. Bryophyte flora in the Middle Don Basin. Voronezh, 1988. 168 p.
8. Suragina S.A. Bryopsida of the Volgograd Oblast (south-eastern European Russia). Arctoa, 2001, vol. 10, pp. 45–70.
9. Pisarenko O.O., Korolyuk A.Yu. Bryophyta in steppe communities of the Altay Region. Botanicheskiy zhurnal, 2003, vol. 88, no. 2, pp. 74–80.
10. Afonina O.M., Zolotov V.I., Notov A.A. On the bryophyte flora of the Orenburg State Natural Reserve. Stepi Severnoy Evrazii. Materialy IV mezhdunarodnogo simpoziuma Orenburg, 2006, pp. 71–75.

ON THE BRYOPHYTE FLORA IN THE STEPPES OF THE BASHKIR TRANS-URALS

© S.M. Aznabaeva, E.Z. Baisheva

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

In the steppe communities of Bashkir Trans-Urals (eastern foothills of the Southern Urals and part of Trans-Urals peneplain), 45 bryophyte species (44 mosses and 3 liverworts) were found. The leading families are *Grimmiaceae* (8 species), *Pottiaceae* (6), *Dicranaceae* (5), *Brachytheciaceae* (5) and *Bryaceae* (3). The list of species is given. The results of ecological analyzes of bryophyte flora are discussed. In the mountainous steppes, the bryophyte diversity is by 70% more, than in flatlands steppes, because of high presence of rock outcrops and epilithic species. The species with life strategy of colonists predominate and consist 47.7% of bryoflora, i.e. 40% among the species growing on soil and 49% among epilithic species. The most of terricolous species has life form Turf (Tf) which allows to save moisture within plants group and is adapted to dry and warm climatic conditions. No one life form predominates among epilithic bryophytes. Probably, it may be explained by high heterogeneity of microhabitats conditions in this substrate. The xerophilous bryophytes have high frequency and abundancy and consist 35–52% of bryophyte flora in the mountainous and flatland steppes. The proportion of xero-mesophilous species is quite high (24–27%), but these species are rare in the steppe communities. The localities of rare species *Dicranum dispersum*, *D. muehlenbeckii*, *Grimmia anodon* and *Syntrichia montana* were revealed. The data on bryophyte composition in the steppes of Bashkir Trans-Urals, Don Basin, Altai, Sayany, Volgograd and Orenburg Provinces were compared and shown the low similarity. The species that have high constancy in the steppes of European Russia and Siberia (*Syntrichia ruralis*, *Abietinella abietina*, *Bryum argenteum*, *Bryum caespiticium*, *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum piliferum*) are not numerous. The bryophyte composition in steppes may have the significant differences between regions as well as between different types of steppe communities within one region.

Key words: bryophytes, steppe, forest-steppe, Bashkir Trans-Urals, rare species.

УДК 58.009

## СИНТАКСОНОМИЯ И ОРДИНАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ СТЕПЕЙ СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

© Т.М. Лысенко, С.М. Ямалов

Степи Поволжья, как и многих других регионов Евразии, в настоящее время сохранились только в условиях форм рельефа, неудобных для освоения под пашню. Данные по современному состоянию степей Поволжья, их разнообразию и лимитирующим факторам, практически отсутствуют. Авторами поставлена цель – выявление разнообразия степной растительности Среднего и Нижнего Поволжья и поставлены задачи представить его в системе единиц эколого-флористической классификации и определить основные экологические факторы организации степных сообществ региона. В основу работы положено 61 геоботаническое описание степных сообществ, выполненные в полевые сезоны 2013–2015 гг., а также 32 ранее опубликованных описания из Самарской области. Авторами выполнен синтаксономический анализ с использованием программного пакета TURBOVEG и ординационный анализ методом бестрендового анализа соответствия (DCA – ординация) в пакете программ CANOCO 4.5. В результате синтаксономического анализа выделено 10 ассоциаций, 7 из которых – новые для науки о растительности. Все установленные синтаксоны отнесены к двум порядкам класса *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et R. Tx. in Br.-Bl. 1949, объединяющему степи Евразии. Мезофитные ценозы на развитых, сравнительно хорошо увлажненных почвах классифицированы в состав порядка луговых степей *Festucetalia valesiacae* Br.-Bl. et Tx. ex Br.-Bl. 1950, ареал которого охватывает лесостепную зону в пределах Центральной, Восточной Европы и Западной Сибири. Ксерофитные ценозы отнесены к порядку *Helictotricho-Stipetalia* Toman 1969, объединяющему настоящие степи Поволжья, Южного Урала, Северного Казахстана и Западной Сибири. В результате непрямой ординации синтаксоны были распределены на осях главных экологических факторов. По первой оси, которая интерпретирована как фактор увлажнения и антропогенной нагрузки, последовательно сменяются сообщества луговых степей сенокосного использования до сухих степей пастбищного использования. Вторая ось интерпретирована как эдафический фактор. В начале оси сосредоточились сообщества на карбонатных и каменистых субстратах, в конце оси локализованы псаммофитные сообщества на террасовых песках.

Ключевые слова: степи, Поволжье, класс *Festuco-Brometea*, синтаксономия, ординационный анализ.

Степи Поволжья, как и многих других регионов Евразии, в настоящее время сохранились только в условиях форм рельефа, неудобных для освоения под пашню [1]. Но и эти участки степей подвергаются высоким пастбищным нагрузкам, лесомелиорации, развитию инфраструктуры и действию других негативных факторов, связанных с хозяйственной деятельностью человека.

Данные по современному состоянию степей Поволжья, их разнообразию и лимитирующим факторам, практически отсутствуют [2]. Это не позволяет разработать эффективную систему мониторинга и охраны степной флоры и растительности региона.

Цель настоящей работы – выявить разнообразие степной растительности Среднего и Нижнего Поволжья, представить его в системе единиц эколого-флористической классификации и определить основные эко-

логические факторы организации степных сообществ региона.

Территория исследований располагается в пределах Среднего и Нижнего Поволжья и включает в себя Самарскую, северо-западную часть Оренбургской и северо-восточную часть Саратовской областей. Климат территории умеренно континентальный. Годовая сумма осадков колеблется от 350 до 450 мм. Характерны высокие температуры воздуха летом (средняя температура июля 19–22°C) и низкие зимой (средняя температура января минус 14°C). В геоморфологическом отношении исследованная территория находится в пределах Низменного Заволжья, Бугульмино-Белебеевской возвышенности, Сыртовой равнины и возвышенности Общий Сырт [3]. Почвенный покров представлен черноземами обыкновенными, южными и выщело-

ЛЫСЕНКО Татьяна Михайловна – д.б.н., Институт экологии Волжского бассейна РАН, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, e-mail: ltm2000@mail.ru

ЯМАЛОВ Сергей Маратович – д.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: yamalovsm@mail.ru

ченными, темно-каштановыми, лугово-черно-земными и засоленными почвами [4].

В основу работы положено 61 геоботаническое описание степных сообществ, выполненные Т.М. Лысенко в период полевых сезонов 2013–2015 гг., а также 32 ранее опубликованных описания из Самарской области [5].

Геоботанические описания выполнены по стандартным методикам размером 16–100 м<sup>2</sup>. Для хранения описаний применен программный пакет TURBOVEG [6] и созданная на его основе база данных «Растительность бассейнов Волги и Урала» [7]. Синтаксономический анализ проведен методом Браун-Бланке [8], выделение и наименование новых ассоциаций – в соответствии с «Международным кодексом фито-социологической номенклатуры» [9]. При составлении сравнительной синоптической

таблицы сообществ использована шкала постоянства в процентах. Для экологического анализа закономерностей распределения сообществ использовалась непрямая ординация методом Detrended correspondence analysis (DCA – ординация), реализованным в пакете программ CANOCO 4.5 [10].

В результате синтаксономического анализа выделено 10 ассоциаций, из которых 7 ассоциаций – новые для науки о растительности, 3 ассоциации были выделены ранее Е.А. Ужамецкой [5]. Их положение в системе единиц эколого-флористической классификации показано в продромусе, дифференциация флористического состава – в сокращенной синоптической таблице (порядковый номер синтаксона в таблице соответствует номеру синтаксона в продромусе, указанного после его названия в скобках).

**Продромус установленных синтаксонов**

КЛАСС *FESTUCO-BROMETEA* Br.-Bl. et R. Tx. in Br.-Bl. 1949

ПОРЯДОК *FESTUCETALIA VALESIIACAE* Br.-Bl. et Tx. ex Br.-Bl. 1950

Союз *Festucion valesiacaе* Klika 1931

Асс. *Salvio nutantis-Stipetum pennatae* Lysenko ass. nov. prov. (1)

Асс. *Centaureo sumensis-Stipetum pennatae* Lysenko ass. nov. prov. (2)

Асс. *Salvio tesquicolaе-Stipetum pennatae* Lysenko ass. nov. prov. (3)

Асс. *Thymo marschallianaе-Stipetum pennatae* Lysenko ass. nov. prov. (4)

ПОРЯДОК *HELICTOTRICHIO-STIPETALIA* Toman 1969

Союз *Helictotricho – Stipion* Toman 1969

Асс. *Salvio stepposae-Stipetum lessingianaе* Lysenko ass. nov. prov. (5)

Асс. *Limonio sareptani-Stipetum lessingianaе* Lysenko ass. nov. prov. (6)

Асс. *Achilleo setaceae-Kolerietum sclerophyllae* Lysenko ass. nov. prov. (7)

Асс. *Gypsosilo paniculataе-Astragaletum onobrychis* Uzham. 1992 nom. invalid. (8)

Асс. *Taraxaco serotini-Tragopogonetum dubii* Uzham. 1992 nom. invalid. (9)

Асс. *Ornithogalo fischerani-Artemisietum lerchianaе* Uzham. 1992 nom. invalid. (10)

Т а б л и ц а

Сокращенная синоптическая таблица установленных синтаксонов степных сообществ Среднего и Нижнего Поволжья

Порядковый номер синтаксона	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число описаний	5	10	5	7	12	16	6	7	11	14
Среднее число видов	15	12	21	19	18	14	14	25	28	22
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Salvia nutans</i>	100			14						
<i>Stipa pulcherrima</i>	80									
<i>Eremogone longifolia</i>	60						33			
<i>Hedysarum grandiflorum</i>	20									
<i>Centaurea sumensis</i>		100								
<i>Tragopogon pratensis</i>		100								
<i>Sedum acre</i>		90								
<i>Herniaria glabra</i>		60								
<i>Carex praecox</i>			100							

29

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Plantago media</i>			100	14	33			14	63	7
<i>Potentilla impolita</i>			80		8	18	18			
<i>Euphorbia virgata</i>			80		8	12				
<i>Amygdalus nana</i>			60	14				29		
<i>Artemisia pontica</i>			60			6				
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>			60							
<i>Salvia tesquicola</i>			60		8	18	18	100	100	71
<i>Vicia tenuifolia</i>			60							
<i>Filipendula ulmaria</i>			60							
<i>Syrenia cana</i>			60							
<i>Thymus marschallianus</i>				100	25					
<i>Galium octonarium</i>				85	8					
<i>Salvia stepposa</i>	20			28	100	6				
<i>Stipa lessingiana</i>				14	100	100	83		100	100
<i>Limonium sareptanum</i>					16	100			63	92
<i>Artemisia nitrosa</i>					8	68	50			
<i>Koeleria sclerophylla</i>							100			
<i>Achillea setacea</i>	20			14	50	32	83			
<i>Gypsophila paniculata</i>					8	6		100		
<i>Astragalus onobrychis</i>								100		
<i>Centaurea trichocephala</i>							16	71	27	7
<i>Cichorium intybus</i>								14	100	28
<i>Tragopogon dubius</i>						12	16	14	90	14
<i>Taraxacum serotinum</i>					8	12			72	14
<i>Ornithogalum fischerianum</i>					16	18				100
<i>Kochia prostrata</i>				14		37		14		100
<i>Alyssum tortuosum</i>								57		100
<i>Artemisia lerchiana</i>									81	100
Диагностические виды класса <i>Festuco-Brometea</i> и порядка <i>Festucetalia valesiaca</i>										
<i>Festuca valesiaca</i>	80		80	14	50	81	83	100	100	100
<i>Galium verum</i>	60	20	20	28	41	12	33	71	63	21
<i>Stipa pennata</i>	100	100	100	100	33	12				
<i>Stipa capillata</i>				57	58	31	50	29	100	100
<i>Medicago falcata</i>	20			57	50	37	100	71	100	64
<i>Campanula sibirica</i>	60			42	8					
<i>Filipendula vulgaris</i>	20									
<i>Inula hirta</i>	40									
<i>Koeleria cristata</i>		50		42	16	31				
<i>Oxytropis pilosa</i>	20				16					
<i>Poa angustifolia</i>	20					12		57		
<i>Galatella villosa</i>	80			42	58	87	100			
<i>Onobrychis arenaria</i>								71		
<i>Adonis vernalis</i>	20			14						
<i>Carex pediformis</i>				14	16					
<i>Dianthus versicolor</i>	20						16			
<i>Phleum phleoides</i>	20									
<i>Bromopsis inermis</i>					25	6		43		
<i>Centaurea scabiosa</i>								86	54	
<i>Phlomis tuberosa</i>								29		
Диагностические виды порядка <i>Helictotricho-Stipetalia</i>										
<i>Artemisia austriaca</i>		100		28	83	87	66	100	100	100
<i>Artemisia marschalliana</i>	20	90	80	71	8		50	71		
<i>Veronica incana</i>	20	60	100		8	18				
<i>Androsace maxima</i>		20	20	28	25		16			
<i>Jurinea multiflora</i>					25	6	50			

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Agropyron desertorum</i>					16	18				
<i>Onosma simplicissima</i>	20			28						
<i>Hieracium virosum</i>						6	16			
<i>Carex supina</i>				14						
<i>Achillea nobilis</i>									100	92
<i>Scorzonera austriaca</i>					8					
<i>Verbascum phoeniceum</i>					16					7
<i>Potentilla humifusa</i>					8					
<i>Stipa korshinskyi</i>	20									
<i>Galatella angustissima</i>					8					
<i>Alyssum turkestanicum</i>		70			8					

Продромус показывает, что все установленные синтаксоны отнесены к двум порядкам класса **Festuco-Brometea**, диагностические виды которого – *Festuca valesiaca*, *Galium verum*, *Medicago falcata* и др. – встречаются с высоким постоянством во всех изученных сообществах.

Наиболее мезофитные ценозы (синтаксоны 1–4) на развитых, сравнительно хорошо увлажненных почвах классифицированы в состав порядка луговых степей **Festucetalia valesiaca**, ареал которого охватывает лесостепную зону в пределах Центральной, Восточной Европы и Западной Сибири. В ценофлоре этих сообществ с высокой константностью встречаются степные мезофиты, такие как *Poa angustifolia*, *Filipendula vulgaris*, *Phleum phleoides* и др.

Наиболее ксерофитные ценозы (синтаксоны 6–10) отнесены к порядку **Helictotricho-Stipetalia**, объединяющему настоящие степи Поволжья, Южного Урала, Северного Казахстана и Западной Сибири. В ценофлоре сообществ достаточно активна группа степных видов более засушливых местообитаний, таких как *Jurinea multiflora*, *Agropyron desertorum*, *Salvia tesquicola*, *Stipa lessingiana* и др.

Сообщества ассоциации **Salvia nutantis-Stipetum pennatae** (синтаксон 1) представляют собой наиболее распространенные луговые степи в лесостепной зоне в пределах Бугульмино-Белебеевской возвышенности, местообитания которых связаны черноземами обыкновенными на вершинах и верхних частях склонов холмов. В сооб-

ществах доминируют *Stipa pennata*, *S. pulcherrima*, *Salvia nutans*.

Псаммофитные мезофитные степи на террасах р. Волга представлены сообществами ассоциации **Centaurio sumensis-Stipetum pennatae** (синтаксон 2). Ядро флористического состава составляют псаммофиты *Artemisia marschalliana*, *Centaurea sumensis* и *Sedum acre*. Местообитания сообществ приурочены к ровным участкам 3-й террасы р. Волга с песчаными почвами.

Петрофитный вариант разнотравно-дерновиннозлаковых степей представлен сообществами ассоциаций **Salvia tesquicola-Stipetum pennatae** (синтаксон 3) и **Thymo marschalliana-Stipetum pennatae** (синтаксон 4). Ценозы первой связаны с черноземами обыкновенными и карбонатными на террасах рек Низменного Заволжья, сообщества второй – с черноземами карбонатными с мелким щебнем на поверхности, распространенными на вершинах и в верхних частях склонов холмов Бугульмино-Белебеевской возвышенности. Флористический состав сообществ ассоциаций довольно богат – среднее число видов составляет 21 и 19 соответственно. В ценозах первой ассоциации доминируют *Stipa pennata*, *Festuca valesiaca*, *Carex praecox*, в сообществах второй – *Stipa pennata*, *Thymus marschallianus*, *Galium octonarum*.

Дерновинно-злаковые (сухие) степи на изученной территории представлены сообществами ковыльковых степей ассоциаций **Salvia stepposae-Stipetum lessingiana**, **Limonio sareptani-Stipetum lessingiana** и

*Achilleo setaceae-Kolerietum sclerophyllae* (синтаксоны 5–7). Они отличаются сравнительно бедным составом (среднее число видов 14–18) и доминированием *Stipa lessingiana*.

Сбитые степные пастбища (синтаксоны 8–10) широко представлены в южной части исследованного региона. В сообществах доминируют *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*. В их составе встречаются синтантропные виды, хорошо выдерживающие выпас, – *Cichorium intybus*, *Achillea nobilis*, *Tragopogon dubius*, *Taraxacum serotinum*, *Ornithogalum fischerianum*, *Kochia prostrata* и др. Присутствие степных и синтантропных видов в ценофлоре предопределяет сравнительно высокое видовое богатство сообществ – среднее число видов составляет 22–28. По-видимому, эти синтаксоны представляют переход от степей класса *Festuco-Brometea* к сбитым степным пастбищам класса *Polygono-Artemisietea austriacae* Mirkin et al. in Ishbirdin et al. 1988.

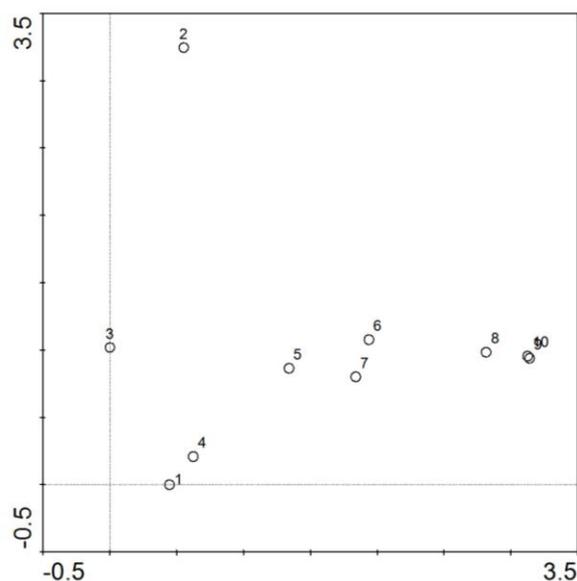


Рис. Распределение синтаксонов степной растительности в пространстве двух первых осей ДСА-ординации. Номера на рисунке соответствуют номерам синтаксонов в протромусе

Для выявления главных экологических факторов, определяющих разнообразие степных сообществ изученной территории, проведена непрямая ординация, результаты которой показаны на рис. По первой оси,

которая интерпретирована как фактор увлажнения и антропогенной нагрузки, последовательно сменяются сообщества луговых степей сенокосного использования порядка *Festucetalia valesiacaе* (синтаксоны 1–4) до сухих степей пастбищного использования порядка *Helictotricho-Stipetalia* (синтаксоны 5–10).

Вторая ось интерпретирована как эдафический фактор. В начале оси сосредоточились сообщества на карбонатных и каменистых субстратах (синтаксоны 1–4), в конце оси локализованы псаммофитные сообщества на террасовых песках (синтаксон 2).

Таким образом, исследование показало, что разнообразие сообществ луговых и настоящих степей в Среднем и Нижнем Поволжье представлено 10 ассоциациями, из которых 7 ассоциаций – новые для науки о растительности. Ассоциации классифицированы в составе двух порядков *Festucetalia valesiacaе* и *Helictotricho-Stipetalia*, соответственно евроазиатского и азиатского ареалов в пределах класса *Festuco-Brometea*. Основными факторами дифференциации сообществ являются увлажнение, антропогенная нагрузка и тип субстрата.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-04-00747а.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чибилев А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Екатеринбург: Наука, 1992. 172 с.
2. Лысенко Т.М. Некоторые степные сообщества лесостепной зоны в Поволжье // Вопросы степеведения. № XII. 2014. С. 96–99.
3. Геоморфологическое районирование СССР // Труды Комиссии по естественно-историческому районированию СССР. Т. II. Вып. 1. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 171 с.
4. Засоленные почвы России. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 854 с.
5. Ужамецкая Е.А. Материалы к классификации луговой и степной растительности южной части Самарской области. II. Характеристика степной растительности (кл. *Festuco-Brometea*). Тольятти, 1992. 24 с. Деп. в ВИНТИ 31.01.92. № 350-В92.
6. Hennekens S.M. TURBO(VEG). Software package for input, processing, and presentation of

phytosociological data. Users guide. Version July 1996. Lancaster, 1996. 52 p.

7. Lysenko T., Mitroshenkova A., Kalmykova O. Vegetation Database of the Volga and the Ural Rivers Basins // Biodiversity and Ecology. 2012. Vol. 4. P. 420–421.

8. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Aufl. Wien-New York: Springer-Verlag, 1964. 865 s.

9. Вебер Х.Э., Моравец Я., Терия Ж.-П. Международный кодекс фитосоциологической номенклатуры // Растительность России. 2005. № 7. С. 3–38.

10. Ter Braak, C.J. F., Šmilauer P. Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power. 2002. 500 p.

### References

1. Chibilev A.A. Ecological optimization of steppe landscapes. Ekaterinburg, Nauka, 1992. 172 p.

2. Lysenko T.M. Some steppe communities of the forest-steppe zone in the Volga Region. Voprosy stepovedeniya, 2014, no. 12, pp. 96–99.

3. Geomorphological zoning of the USSR. Trudy komissii po estestvenno-istoricheskomu rayonirovaniyu

SSSR. Vol. 2. Issue 1. Moscow, Leningrad, AN SSSR, 1947. 171 p.

4. Salty soils of Russia. L.L. Shishov, E.I. Pankova (eds.). Moscow, Akademkniga, 2006. 854 p.

5. Uzhametskaya E.A. Materials on the classification of meadow and steppe vegetation in the southern part of the Samara Oblast. Pt. 2. Characteristics of steppe vegetation (class *Festuco-Brometea*). Togliatti, 1992. 24 p. Dep. VINITI January 31, 1992. No. 350–B92.

6. Hennekens S.M. TURBO(VEG). Software package for input, processing, and presentation of phytosociological data. User's guide. Version July 1996. IBN-DLO, Lancaster, 1996. 52 p.

7. Lysenko T., Mitroshenkova A., Kalmykova O. Vegetation Database of the Volga and the Ural Rivers Basins. Biodiversity and Ecology, 2012, vol. 4, pp. 420–421.

8. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Aufl. Wien-New York: Springer-Verlag, 1964. 865 s.

9. Weber H.E., Moravec J., Theurillat J.-P.. International code of phytosociological nomenclature. 3rd edition. Rastitelnost Rossii, 2005, no. 7, pp. 3–38.

10. Ter Braak C.J.F., Šmilauer P. Reference manual and Cano Draw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA, 2002. 500 p.

## SYNTAXONOMY AND ORDINATION OF SOME STEPPE TYPES IN THE CENTRAL AND LOWER VOLGA REGIONS

© T.M. Lysenko<sup>1,2</sup>, S.M. Yamalov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Ecology of the Volga River Basin, RAS,  
10, ulitsa Komzina, 445003, Samara Oblast, Togliatti, Russian Federation

<sup>2</sup> Komarov Botanical Garden, RAS,  
2, ulitsa professora Popova, 197376, St. Petersburg, Russian Federation

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

Like in other Eurasian regions, steppes have been preserved in the Volga region only where the forms of land relief are unsuitable for ploughing. In practice, there is no information about the current state, diversity and limiting factors of the Volga steppes. The aim of this paper is to reveal plant diversity in the steppes of the Central and Lower Volga regions, to present it in the system of units of the eco-floristic classification and to determine major environmental factors responsible for organizing steppe plant communities. The dataset consists of 61 *relevés* collected during 2013–2015 field seasons and 32 previously published *relevés* from the Samara Oblast. Syntaxonomical analysis has been performed using TURBOVEG software package and detrended correspondence analysis (DAC ordination) using CANOCO 4.5. As a result of syntaxonomical analysis, 10 associations have been recognized, 7 of which are new for the vegetation science. All the syntaxa under consideration are assigned to two orders of the class *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et R. Tx. in Br.-Bl. 1949 that combines the steppes of Eurasia. Mesophytic coenoses on rather well-developed wetty soils are classified as part of the order *Festucetalia valesiacae* Br.-Bl. et Tx. ex Br.-Bl. 1950 (meadow steppes). Its area covers the forest-steppe zone in Central and Eastern Europe and West Siberia. Xerophytic coenoses are assigned to the order *Helictotricho-Stipetalia* Toman 1969 that combines the true steppes of the Volga region, South Urals, North Kazakhstan and West Siberia. According to DCA-ordination the syntaxa are distributed along the axes of major environmental factors. The first axis interpreted as a complex gradient of moistening and anthropogenic load shows the sequential replacement of meadow steppe communities used for hay by dry steppes used for pastures. The second axis is interpreted as an edaphic factor.

Communities on carbonate and rocky soils are located at the origin of the axis whereas psammophytic communities on terrace sands are located at the extremity of the axis.

Key words: steppes, Volga region, *Festuco-Brometea* class, syntaxonomy, ordination analysis.

УДК 581.9

## АНАЛИЗ АДВЕНТИВНОЙ ФРАКЦИИ СЕМЕЙСТВА ASTERACEAE ФЛОРЫ АБХАЗИИ

© Л.Г. Гергия, Л.М. Абрамова, Э.А. Айба

Семейство Asteraceae Dumort. – самое крупное семейство двудольных, содержит более 20 тыс. видов, широко распространенных по земному шару и представленных на всех континентах и во всех климатических зонах. В составе семейства на любой территории содержится большое число чужеродных видов, многие из которых натурализуются и становятся инвазивными.

В статье представлены результаты исследования по стандартным флористическим методикам адвентивной фракции семейства Asteraceae на территории Республики Абхазия.

Семейство Asteraceae в Абхазии включает 243 вида, относящихся к 81 роду. Самый многочисленный род *Senecio* L. содержит 19 видов, 28 родов представлены тремя и более видами, маловидовых родов – 40. Отмечено преобладание видов семейства в местах с полуестественной растительностью. В составе адвентивной фракции семейства Asteraceae в Республике Абхазия выявлено 57 адвентивных видов, т.е. 23.5% от общего числа видов семейства. Аборигенные виды преобладают в родах *Anthemis* L., *Centaurea* L., *Cirsium* Hill., *Senecio* L. и др., роды *Cicerbita* Wallr., *Hieracium* L., *Inula* L., *Jurinea* Cass., *Pyrethrum* Zinn и др. полностью составлены из местных видов, а роды *Conyza* Less., *Ambrosia* L., *Sonchus* L. включают только заносные виды. Среди адвентивных растений семейства Asteraceae преобладают евкенофиты (39 видов), число кенофитов (18 видов) гораздо меньше, группа археофитов отсутствует.

Наиболее агрессивными заносными видами в регионе можно считать *Ambrosia artemisifolia* L., *Centaurea iberica* Trev. ex Spreng., *Bidens frondosa* L., *Baccharis halimifolia* L., *Solidago canadensis* L., широко распространившиеся в различных местообитаниях по всей территории Абхазии. Их можно отнести в группу инвазивных видов, они требуют особого мониторинга и контроля дальнейшего расселения в регионе.

Ключевые слова: флора, Абхазия, семейство Asteraceae, адвентивная фракция, инвазивные виды.

Семейство астровые или сложноцветные (Asteraceae Dumort.) – самое крупное семейство двудольных, содержит более 20 000 видов, широко распространенных по земному шару и представленных на всех континентах и во всех климатических зонах. Это многолетние или однолетние травы или полукустарники, лианы и небольшие деревья с простыми или слабоветвистыми стеблями [1–2]. В составе семейства на любой территории, как правило, содержится большое число чужеродных видов, значительная часть из которых – однолетники, но встречаются и многолетние, включая древесные виды. Многие астровые натурализуются на новых местообитаниях и становятся инвазивными видами [3–5].

Анализ адвентивной фракции семейства астровых проводился на территории Республики Абхазия, которая расположена в северо-западной части Закавказья между 42°27' и 43°30' северной широты и 57°40' и 59°48' восточной долготы и занимает 8.6 тыс. км<sup>2</sup>. Большая часть республики (прибрежная полоса по берегу Черного моря) входит в субтропическую зону, а именно – в зону влажных субтропиков. За береговой полосой начинаются горы Кавказа, которые занимают всю остальную территорию республики; горная часть включает среднегорную лесную и высокогорную альпийскую зоны, переходящие в зону вечных снегов и ледников. Море омывает ее берега от западной и восто-

ГЕРГИЯ Лолита Гурамовна, Абхазский государственный университет; e-mail: gergia\_lolita@mail.ru  
АБРАМОВА Лариса Михайловна – д.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: abramova.lm@mail.ru  
АЙБА Эльза Александровна – к.б.н., Абхазский государственный университет, e-mail: elza55@list.ru

чной границы на протяжении 240 км. Береговая полоса носит характер низменности с кромкой пляжей, косогорами, холмами и долинами рек [6, 7]. Для анализа адвентивной фракции семейства нами использовались опубликованные данные по адвентивной флоре Абхазии [8, 9], материалы гербария Института ботаники Академии наук Абхазии и собственные исследования авторов. Анализ проводился по стандартным флористическим методикам. Для анализа чужеродной фракции по времени заноса использовалась классификация В.С. Ябровой-Колаковской и Е.М. Шенгелия [9–10], которыми предложены три группы адвентов по времени проникновения на территорию Абхазии:

1. Археофиты – древние пришельцы, дату проникновения которых трудно установить.

2. Кенофиты – более молодые пришельцы, после XV столетия, но не позже конца XIX в., примерную дату которых можно установить.

3. Евкенофиты – пришельцы XX столетия, время появления которых устанавливается почти достоверно.

По результатам исследований выявлено, что флора Абхазии в пределах семейства сложноцветных включает 243 вида, относящихся к 81 роду. Самый многочисленный род *Senecio* L. включает 19 видов, 28 родов содержат 3 и более видов, малочисленных родов – 40. К последним можно отнести роды, содержащие по одному (*Antennaria* Gaertn., *Carlina* L., *Carthamus* L., *Chondrilla* L., *Crupina* (Pers.) DC. и др.) или два вида (*Aetheopappus* Cass., *Carpesium* L., *Doronicum* L., *Echinops* L., *Galinsoga* Ruiz et Pav. и др.).

В семействе астровых флоры Абхазии нами выделены как аборигенные (местные), так и адвентивные (заносные) виды. В табл. 1 приведены основные многовидовые (3 и более видов) роды семейства. Можно видеть, что аборигенные виды преобладают в родах *Anthemis*, *Centaurea*, *Cirsium*., *Senecio* и др., роды *Cicerbita*, *Hieracium*, *Inula*, *Jurinea*, *Pyrethrum* и др.

полностью составлены из местных видов, а роды *Conyza*, *Ambrosia*, *Sonchus*, наоборот, включают только заносные виды.

Как следует из табл. 2, среди выявленных нами адвентивных растений семейства сложноцветных преобладают евкенофиты (39), такие как *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Phalacrocoma annuum* (L.) Dumort., *Xanthium spinosum* L., *Sigesbeckia orientalis* L., *Artemisia vulgaris* L. и др., число кенофитов (18) гораздо меньше (*Ambrosia artemisiifolia* L., *Bidens frondosa* L., *Galinsoga parviflora* Cav., *Baccharis halimifolia* L., *Solidago canadensis* L.), группа археофитов отсутствует. Следовательно, выделенные нами адвентивные растения появились в нашем краю после XV столетия. Широкое распространение адвентивные виды астровых получили в XX в. не только в Абхазии, но и в целом по Кавказу.

На рис. представлено распределение астровых на разнообразных рудеральных местообитаниях (заброшенные залежи, места с полуестественной (с большой долей синантропных видов) растительностью, залежи увлажненные, газоны, палисадники, канавы, селитебные, железнодорожные насыпи, сбои, пустыри) в пределах республики. Очевидно преобладание астровых в местах с полуестественной растительностью, наименьшим количеством видов астровых характеризуются железнодорожные насыпи.

Наиболее часто и повсеместно на всех обследованных нами местообитаниях встречаются такие виды, как *Ambrosia artemisiifolia* L., *Centaurea iberica* Trev. ex Spreng., *Bidens frondosa* L., *Baccharis halimifolia* L., *Solidago canadensis* L., краткую характеристику которых мы приводим ниже.

***Ambrosia artemisiifolia*** – травянистый однолетник с прямостоячим ветвистым стеблем, 30–200 см высоты. Листья однажды или дважды перисто-разделенные, с продолговато или ланцетно-линейными долями, сверху темно-, а снизу светло-зеленые, довольно густо короткоопушенные. Семянки обратнойцевидные, на верхушке с конусовидным носиком. Севе-

роамериканское растение, занесенное, по-видимому, впервые на Пицунду с семенами клевера [8]. В настоящее время амброзия распространилась очень широко – по всей Абхазии, встречается на разнообразных, преимущественно рудеральных ме-

стообитаниях, по дорогам и ущельям заходит далеко вглубь горной территории, до 1000 м н.у.м. Нередко образует сплошные заросли. Амброзия отнесена в группу наиболее опасных инвазивных видов, приоритетных для исследования.

Т а б л и ц а 1

Таксономический анализ семейства *Asteraceae* в Абхазии

№	Роды	Природная фракция		Чужеродная фракция		Флора в целом	
		Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
1.	<i>Senecio</i> L.	18	7.4	1	0.4	19	8
2.	<i>Cirsium</i> Hill.	15	6.1	2	0.8	17	7
3.	<i>Hieracium</i> L.	16	6.6	-	-	16	6.5
4.	<i>Anthemis</i> L.	7	2.9	2	0.8	9	3.7
5.	<i>Centaurea</i> L.	5	2.0	4	1.6	9	4
6.	<i>Crepis</i> L.	6	2.4	3	1.2	9	4
7.	<i>Pyrethrum</i> Zinn.	9	3.7	-	-	9	4
8.	<i>Solidago</i> L.	2	0.8	6	2.4	8	3.4
9.	<i>Psephellus</i> Cass.	7	2.9	-	-	7	3
10.	<i>Cicerbita</i> Wallr.	6	2.4	-	-	6	2.4
11.	<i>Inula</i> L.	6	2.4	-	-	6	2.4
12.	<i>Achillea</i> L.	3	1.2	2	0.8	5	2.0
13.	<i>Artemisia</i> L.	1	0.4	4	1.6	5	2.0
14.	<i>Phalacrocoma</i> Cass.	3	1.2	2	0.8	5	2
15.	<i>Gnaphalium</i> L.	3	1.2	2	0.8	5	2
16.	<i>Conyza</i> Less.	-	-	4	1.6	4	1.6
17.	<i>Jurinea</i> Cass.	4	1.6	-	-	4	1.6
18.	<i>Kemulariella</i> Tamamsch.	4	1.6	-	-	4	3
19.	<i>Taraxacum</i> Wigg.	4	1.6	-	-	4	1.6
20.	<i>Tragopogon</i> L.	3	1.2	1	0.4	4	1.6
21.	<i>Xanthium</i> L.	-	-	4	1.6	4	1.6
22.	<i>Ambrosia</i> L.	-	-	3	1.2	3	1.2
23.	<i>Arctium</i> L.	3	1.2	-	-	3	1.2
24.	<i>Bidens</i> L.	2	0.8	1	0.4	3	1.2
25.	<i>Filago</i> L.	3	1.2	-	-	3	1.2
26.	<i>Lactuca</i> L.	2	0.8	1	0.4	3	1.2
27.	<i>Sonchus</i> L.	-	-	3	1.2	3	1.2
28.	<i>Tripleurospermum</i> Sch. Bip.	2	0.8	1	0.4	3	1.2

Т а б л и ц а 2

Характеристика адвентивных видов семейства *Asteraceae* Республики Абхазия по происхождению и времени заноса

Группы видов по происхождению и времени заноса		Число видов	% от общего числа видов в семействе
Археофиты	-	-	-
Кенофиты	Агрестофиты	18	32
	Эргазиофиты	-	-
Евкенофиты	Агрестофиты	31	54
	Эргазиофиты	8	14
<b>Всего:</b>		<b>57</b>	<b>100</b>

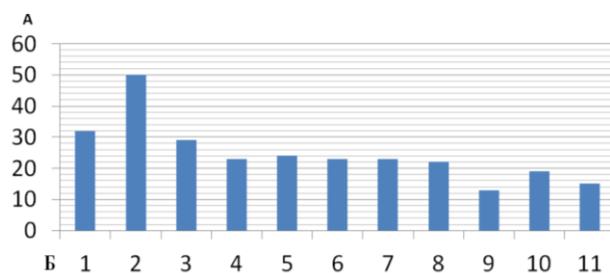


Рис. Представители семейства Asteraceae на разных типах местообитаний Абхазии.

Обозначения: А – число видов; Б – типы местообитаний: 1 – заброшенные залежи; 2 – места с полуестественной растительностью; 3 – залежи увлажненные; 4 – газоны; 5 – палисадники; 6 – борта канав; 7 – сорные канавы; 8 – селитебные; 9 – железнодорожные насыпи; 10 – сбои; 11 – пустыри

*Centaurea iberica* – травянистый однолетник. Стебель растопырено-ветвистый, 30–70 см высоты. Листья перисто-разделенные, с линейно-ланцетными сегментами. Корзинки на веточках одиночные. Венчик пурпуровый. Встречается в приморской полосе и предгорьях [8]. Обычное для Абхазии растение, свойственное сухим сорным местам, сбитым пастбищам и обочинам дорог.

*Bidens frondosa* – травянистый однолетник. Стебли прямостоячие, ветвистые, до 2 м высоты. Листья длинночерешковые, перисто-разделенные, с надрезано-зубчатыми долями. Корзинки небольшие, на прямых длинных ножках. Семянки удлинённые, 12–15 мм длиной, наверху с 3–4 остями, усаженными вниз обращенными шипиками. Заносное североамериканское растение, впервые собранное в окрестностях Сухума в 1939 г. [8]. Встречается в приморской полосе, на сорных местах.

Значительные площади в Абхазии в последние десятилетия заняли виды родов *Baccharis* и *Solidago*.

В Очамчёрском и Гальском районах Абхазии широко распространился южноамериканский вид *Baccharis halimifolia*, являющийся ныне злостным древесным сорняком. Это вечнозеленый кустарник, достигающий в благоприятных условиях до 4–5 м высоты. Корзинки мелкие, многочисленные, собранные в метельчатые соцветия. По данным В.С. Ябровой-Колаковской [9], в Абха-

зию вид был интродуцирован в качестве декоративного растения. Впервые обнаружен в 1939 г. близ села Дача. Размножается семенами, при этом одно хорошо развитое растение способно дать сотни тысяч семян, не теряющих всхожести до 10 лет. Вид способен также к активному вегетативному размножению корневыми отпрысками. В последние десятилетия бакхарис захватил огромные площади в селениях Киндги, Адзюбжа, Дача, Атара, Ачигвара и т.д.

*Solidago canadensis* – травянистый многолетник с прямостоячим, густо облиственным стеблем до 2.5 м высоты, многочисленными желтыми корзинками, собранными в пирамидально-метельчатые соцветия. Размножается с помощью корневищ и семенами. Одичавшее североамериканское растение, впервые собранное вне культуры в окрестностях г. Очамчыра в 1924 г. [8]. В настоящее время в изобилии произрастает по всей Абхазии по бортам канав, на залежах, сботах, в местах с полуестественной растительностью и всевозможных мусорных местах, залежах, вдоль дорог.

Таким образом, в составе адвентивной фракции семейства Asteraceae в Республике Абхазия выявлено 57 адвентивных видов, т.е. 23.5% от общего числа видов семейства, большинство из которых распространились в последнее столетие. Наиболее агрессивными заносными видами в регионе можно считать *Ambrosia artemisifolia*, *Centaurea iberica*, *Bidens frondosa*, *Baccharis halimifolia*, *Solidago canadensis*, широко расселившихся в различных местообитаниях почти по всей территории Абхазии, исключая высокогорья. Их можно отнести в группу инвазивных видов, они требуют особого мониторинга и контроля дальнейшего распространения в регионе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тахтаджян А.Л. Систематика и филогения цветковых растений. М.; Л.: Наука, 1966. 611 с.
2. Еленевский А.Г. Ботаника. Систематика высших или наземных растений. М.: Академия, 2004. 432 с.
3. Абрамова Л.М. Экспансия американских неофитов семейства Asteraceae в южных районах Республики Башкортостан // Проблемы изучения

адвентивной и синантропной флоры в регионах СНГ: Мат-лы научной конференции. Москва-Тула, 2003. С. 7–9.

4. Абрамова Л.М., Гордеев М.В., Лаптева А.Г., Нурмиева С.В. Инвазивные виды семейства Asteraceae в Зианчуринском районе Республики Башкортостан // Вестник Оренбургского государственного университета. 2007. № 75. Спец. выпуск: Проблемы экологии Южного Урала. С. 11–13.

5. Абрамова Л.М. Распространение инвазивных неофитов семейства Asteraceae в Башкортостане // Бiorазнообразии растений на Южном Урале и при интродукции. Труды Ботанического сада-института УНЦ РАН к 75-летию образования. Уфа, 2009. С. 191–208.

6. Куфтырева Н.С., Лашхия Ш.В., Мгеладзе К.Г. Природа Абхазии. Сухуми, 1961. 339 с.

7. Айба Э.А. Эколого-ценотическая характеристика растительного покрова низменной зоны восточной части Абхазии // Труды Абхазского государственного университета. Сухум, 2015. С. 19–21.

8. Колаковский А.А. Флора Абхазии. Т. II. Тбилиси: Метсниереба, 1982. 282 с.

9. Яброва-Колаковская В.С. Адвентивная флора Абхазии. Тбилиси: Метсниереба, 1977. С. 3–60.

10. Яброва-Колаковская В.С., Шенгелия Е.М. Сорные растения Абхазии. Тбилиси: Метсниереба, 1978. С. 3–88.

#### References

1. Takhtadzhyan A.L. Systematics and phylogeny of flowering plants. Moscow, Leningrad, Nauka, 1966. 611 p.

2. Elenevsky A.G. Botany. Systematics of higher or terrestrial plants. 3rd edition. Moscow, Akademiya, 2004. 432 p.

3. Abramova L.M. Expansion of American neophytes of the family Asteraceae into the southern regions of the Republic of Bashkortostan. Problemy izucheniya adventivnoy i sinantropnoy flory v regionakh SNG. Materialy nauchnoy konferentsii. Moscow-Tula, 2003, pp. 7–9.

4. Abramova L.M., Gordeev M.V., Lapteva A.G., Nurmieva S.V. Invasive species of the family Asteraceae in Zianchurinsky district of the Republic of Bashkortostan. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 2007, no. 75. Special release: Environmental problems of the South Urals, pp. 11–13.

5. Abramova L.M. The spread of invasive neophytes of the family Asteraceae in Bashkortostan. Bioraznoobrazie rasteniy na Yuzhnom Urale i pri introduktsii. Trudy Botanicheskogo sada-institutu UNTs RAN k 75-letoyu obrazovaniya. Ufa, 2009, pp. 191–208.

6. Kufyireva N.S., Lashkhiya Sh.V., Mgeladze K.G. The nature of Abkhazia. Sukhumi, 1961. 339 p.

7. Ayba E.A. Ecological and coenotical characteristics of the vegetative cover in the lowland zone of eastern Abkhazia. Trudy Abkhazskogo gosudarstvennogo universiteta. Sukhum, 2015, pp. 19–21.

8. Kolakovskiy A.A. Flora of Abkhazia. Vol. 2. Tbilisi, Metsniereba, 1982. 282 p.

9. Yabrova-Kolakovskaya V.S. The adventive flora of Abkhazia. Tbilisi, Metsniereba, 1977, pp. 3–60.

10. Yabrova-Kolakovskaya V.S., Shengeliya E.M. Weed plants of Abkhazia. Tbilisi, Metsniereba, 1978, pp. 3–88.

### ANALYSIS OF THE ADVENTIVE FRACTION OF THE FAMILY ASTERACEAE IN THE FLORA OF ABKHAZIA

© L.G. Gergiya<sup>1</sup>, L.M. Abramova<sup>2</sup>, E.A. Ayba<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abkhazian State University,

1, ulitsa Universitetskaya, 384904, Sukhum, Republic of Abkhazia

<sup>2</sup> Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

Asteraceae Dumort. is the largest family of dicotyledonous plants that includes more than 20 thousand species spread all over the world in every continent and every climatic zone. There is a large number of alien species within the family anywhere, and many of them can naturalize and become invasive.

This article describes the results of the research on the adventive fraction of the family Asteraceae in the Republic of Abkhazia.

The family Asteraceae in Abkhazia includes 243 species which fall into 81 genera. The most numerous genus *Senecio* L. contains 19 species, 28 genera are represented by three or more species, and forty genera are oligotypical. As is noted in the article, the species of this family dominate in the areas with semi-natural vegetation. In the Republic of Abkhazia the adventive fraction of the family Asteraceae comprises 57 species, i.e. 23.5% of their total number. Native species prevail in the genera *Anthemis* L., *Centaurea* L., *Cirsium* Hill., *Senecio* L., etc. and the genera *Cicerbita* Wallr., *Hieracium* L., *Inula* L., *Jurinea* Cass., *Pyrethrum* Zinn, etc. consist completely of local species. The genera *Conyza* Less., *Ambrosia* L., *Sonchus* L. include only alien species. Among the adventive plants of the family Asteraceae eucenophytes (39 species) are the most common, the number of cenophytes (18 species) is much less, and the group of archeophytes is absent.

*Ambrosia artemisiifolia* L., *Centaurea iberica* Trev. ex Spreng., *Bidens frondosa* L., *Baccharis halimifolia* L., *Solidago canadensis* L. are widespread in the region. They can be considered the most aggressive alien species and should be thoroughly monitored and controlled in order to prevent their further spread across the territory of Abkhazia.

Key words: flora, Abkhazia, Asteraceae, adventive fraction, invasive species.

УДК 551.24

**К РЕШЕНИЮ МНОГОЛЕТНЕЙ ПРОБЛЕМЫ  
СТРУКТУРНОГО ПРОДОЛЖЕНИЯ ЮЖНОГО УРАЛА**

© Т.Т. Казанцева

Многолетняя геологическая проблема структурного продолжения Южного Урала несколько десятков лет решалась выдающимися тектонистами страны: А.П. Карпинским, А.Д. Архангельским, А.Л. Яншиным, Н.С. Шатским, каждый из которых обосновывал свою точку зрения. В результате предложенные ими варианты свелись к следующему: южный конец Урала продолжается к западу, в сторону Донбасса; направляется на соединение с Тянь-Шанем; не сворачивает ни к западу, ни к востоку, а перекрывается прогибами, выполненными молассой; прослеживается под мезозойскими отложениями Кавказа. Выполненные автором исследования показали доказанность поворота Предуралья и частично западного склона Южного Урала к западу, в сторону Донбасса. Центральная зона Урала, соответствующая восточной части западного склона и хребту Уралтау, по структурно-формационному, возрастному и геодинамическому признакам соответствуют домезозою Северного Кавказа (Лабино-Малкинский тектонический блок). Восточный склон Урала через Султан-Уиздаг соединяется с Тянь-Шанем. Возможно, такое трехчленное окончание Южного Урала связано, как это полагали сначала А.П. Карпинский, затем А.Д. Архангельский, с влиянием Устюрта – «подземного горста», одного из выступов кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы.

Ключевые слова: проблема, структурная связь, формационное обоснование, тектонический блок, кристаллический фундамент, горст, геодинамика, моласса.

Сложность проблемы структурного продолжения Южного Урала наиболее полно отражена эволюцией представлений выдающегося тектониста страны первой половины XX столетия академика А.Д. Архангельского в период 1923–1937 гг. В каждой последующей работе по этому вопросу он меняет свои взгляды, допускает различные варианты решения. Вначале, под влиянием идей А.П. Карпинского о «подземных горстах», у него возникла мысль, что Устюрт представляет собой один из таких выступов кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы. Поэтому на его тектонической схеме 1923 г. на юге Урал ограничивается этой структурой. В 1932 г. он все еще придерживается схемы, что основной структурой к востоку от Каспийского моря является подземная глыба Устюрта, но при этом замечает, что новый фактический материал заставляет осторожно относиться к данной гипотезе. Однако в конце

1936 г., в совместной работе с В.В. Федыным и Е.Н. Люстихом [1], приходит к выводу, что Урал и Донецкий бассейн принадлежат к единой складчатой системе, полукольцом охватывающей с востока и юга Восточно-Европейскую платформу. Убедили его данные геофизики. На гравиметрических картах по Средней Азии и юго-западному Казахстану крупные положительные аномалии, присущие Мугоджарам, направляются к Донбассу. По его мнению, от полосы положительных аномалий, связанных с Тянь-Шанем, уральская оказалась отделенной неширокой полосой отрицательных аномалий. О наличии в Мугоджарах положительных аномалий говорит и постепенное возрастание величины силы тяжести по мере приближения к этим горам со стороны Эмбинского нефтеносного района. К югу полоса положительных аномалий отклоняется на юго-запад, четко прослеживаясь до северо-восточного берега

Каспийского моря, направляясь на соединение с полосой таких же аномалий Донецкого бассейна. Основываясь на этих фактах, этот исследователь в 1936 г. заключает, что складчатая система Донецкого бассейна под покровом новейших недислоцированных пород является продолжением Урала. До конца своей работы А.Д. Архангельский все еще искал правильное решение, колеблясь между возможными вариантами. И лишь в последней публикации, вышедшей в 1941 г. уже после его смерти, излагается окончательный вывод о сопряженности Урала с Донбассом. Сомнения обосновывались тем, что в целом эти складчатые области трудно сопоставимы, а в то время о существовании Преддонецкого передового прогиба сведений не существовало, так как последний был признан только после 1941 г. В пользу наличия данной структуры позже решение утвердилось, и уже к началу 60-х гг. прошлого столетия Н.М. Страхов не сомневался, что: «Между платформой и складчатыми сооружениями длинной лентой от крайнего севера Урала до крайнего его юга и отсюда через низовья Эмбы и Урала к Астрахани протягивалась предгорная, интенсивно прогибавшаяся депрессия (Vortiefe), на западе переходившая в Преддонецкую».

Патриарх отечественной геологии академик А.П. Карпинский на старых тектонических схемах конца XIX в. Урал доводил только до южного конца Мугоджар. Простираение Тянь-Шаня им было продолжено на соединение с Донецким бассейном. Впоследствии взгляды этого исследователя изменились, и он стал связывать Урал с Тянь-Шанем через Султан-Уиздаг. И это не случайно. А.П. Карпинский хорошо знал геологию восточного склона Урала, о чем свидетельствует и составленная им геологическая карта на этот регион в 1884 г., в странном для наших дней масштабе 1:42000. Структурное единство Урала и Тянь-Шаня на основе преимущественно геофизических материалов в середине прошлого столетия позже обосновывалось и многими другими исследователями. Они утверждали, что четко выраженные маг-

нитные и гравитационные аномалии меняют свои меридиональные простирания на юго-восточные в направлении от Мугоджар к северо-западным отрогам Тянь-Шаня. Подтвердил Урало-Тяньшаньскую структурную связь и В.А. Шапиро, обнаруживший в 1988 г. трансконтинентальную аномалию электропроводности, представляющую собой активную в настоящее время тектоническую зону, соединяющую Буткинскую аномалию Урала с Тянь-Шаньской. Вместе с тем Б.А. Петрушевский, А.А. Богданов, А.А. Пронин, А.А. Абдулин и др. указывали на их структурные и формационно-литологические идентичности.

Не поддерживал приведенные выше точки зрения замечательный отечественный тектонист А.Л. Яншин, который выразил это так: «Изучение унаследованной складчатости показывает, что основные структурные элементы Урала, погружаясь под мезозой и третичные осадки, не заворачивают ни на юго-запад – навстречу Донбассу, ни на юго-восток – направляясь к Тянь-Шаню, а продолжают до самого своего затухания более или менее меридионально» [2]. По его мнению, герцинская складчатая структура Урала в южном направлении погружается и затухает, а краевой прогиб здесь значительно расширяется, располагаясь на южном продолжении уральских зон, которые севернее в верхнепалеозойское время представляли собой поднятия, а антиклинорий Уралтау на широте г. Актюбинска погружается к югу под молодые осадки.

Является пророческим предположение также великого тектониста нашей страны Н.С. Шатского о продолжении Урала под Кавказом, высказанное им еще в тридцатые годы прошлого столетия [3].

Итак, существовавшие точки зрения по проблеме структурного продолжения южного окончания Урала сводятся к четырем вариантам. Согласно первому, Южный Урал сворачивает к западу, на соединение с Донбассом. Второму – направляется к востоку, в сторону Тянь-Шаня. Третий вариант

убеждает, что уральская складчатая область прослеживается субмеридионально, заканчиваясь молассовыми прогибами. Четвертый предполагает нахождение его под Кавказом. Приведенный обзор, который, вероятно, можно отнести к «Великому спору в геологии» по Э. Хэллему (1985 г.), показывает, что все названные исследователи считают Урал как бы единым, неделимым объектом, а потому обозначенная проблема решалась ими в основном по известным к тому времени данным геофизики. Возможно, поэтому все предложенные варианты относились ко всей складчатой области, без учета важнейших особенностей строения отдельных ее регионов. Необходимость сведений, которые бы базировались на структурно-формационных сопоставлениях, стала очевидной [4]. Важнейшим условием успешного решения заявленной проблемы прежде всего следует считать современное тектоническое районирование как рассматриваемой и сопредельных с ней складчатых областей, так и отдельных структурных зон, входящих в их состав. В настоящее время основными структурными элементами Южного Урала с запада на восток (рис. 1) признаются: Предуральский передовой прогиб, западный склон (Башкирский антиклинорий, Зилаирский синклинорий), центральная зона (Уралтау) и восточный склон (преимущественно Магнитогорский синклинорий) (рис. 1). Сравнимость геологических объектов по структурно-формационным признакам предполагает задействование особо характерных, легко узнаваемых дислокационных объектов, своего рода «маркерных» зон. В пределах каждой из перечисленных выше структурных единиц наблюдаются трансрегиональные пояса повышенной дислоцированности с их усложнением в восточной части. Ими являются [5]: 1. Пограничная зона Восточно-Европейской платформы и Предуральского прогиба, сопровождаемая **цепочкой рифовых тел**. 2. Структурно-формационные комплексы передового прогиба: рифовые, глубоководные, флишевые, соответствующие краевой, центральной и

предгорной зонам. Последняя была известна ранее как **передовые складки Южного Урала**. 3. Трансрегиональная структурная зона, представляющая собой субмеридиональный **шарьяжный пояс** западного склона Южного Урала. Он состоит (с севера на юг) из шарьяжей Уфимского амфитеатра, Тирлянского и Кракинского тектонических покровов, Кзылбалыкского и Малосуреньского клиппов, а также Сакмарского аллохтона. 4. Своеобразие каждой из трех зон хребта Уралтау: сланцевый комплекс палеозоя в западной части, Суванякская докембрийско-палеозойская метаморфизованная пластина – в центре и Максютовская **метаморфическая**, преимущественно докембрийская, – восточная. 5. Главный Уральский надвиг, представляющий собой гипербазитовый пояс, состоящий из ультраосновных массивов и меланжа, разделяющий западный (окраиноконтинентальный) и восточный (геологически активный, осадочно-магматический) регионы Южного Урала.

**I. Проведенные нами исследования, направленные на выявление закономерностей строения и развития краевых прогибов Восточно-Европейской платформы** (Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., 2007–2009 гг.) показывают, что представления А.Д. Архангельского и Н.М. Страхова в основном подтверждаются, но только для районов передовых прогибов: Предуралья, захватывая частично и западный склон Южного Урала, Прикаспия и Преддонбасса.

Предуральский передовой прогиб, граничащий с востока с Восточно-Европейской платформой, согласно формационно-тектоническому районированию Ю.В. Казанцева [6], состоит с запада на восток из трех зон: краевой (соседний с сопредельной платформы), центральной или срединной и предгорной, граничащей со складчатым Уралом. Особенности строения и истории развития его освещены довольно полно в монографиях 1982–2006 гг. В них показано, что в Предуралье отчетливо проявлена чешуйчато-надвиговая тектоника (см. рис. 1), а вещественное выполнение представлено определенными типами осадков, включа-

ющих закономерно сменяющийся по латерали ряд формаций: рифовую – депрессионную – флишевую. К югу Предуральский прогиб в структурном отношении прослеживается как Актюбинское Предуралье, затем Примугоджарье, преимущественно меридионального простирания (рис. 2, А). Примугоджарье, поворачивая на юго-запад в районе Ширкалинского свода, сменяется Южно-Эмбинской структурной областью субширотного простирания. Особый интерес представляет геология Ширкалинского свода. Именно здесь структуры меняют свое простирание, постепенно заворачивая к западу. В пределах Тамдыкольской вершины этого свода выделяются надвиги северо-западного простирания, важнейшими из которых с запада на восток являются: Кожасайский (Кж), Урихтаусский (Ур), Жауджольский (Ж) и Алибекмолинский (Ал) (рис. 2, Б).

Смена простираний дислокаций с меридионального на субширотное происходит в пределах Южно-Эмбинской области (рис. 3).

Юго-западнее продолжение фиксируется в пределах Бузачинского свода (рис. 4). По данным В.И. Попкова, его локальные поднятия группируются в несколько субширотных приразломных антиклинальных валов. Они слагают крупную зону надвигов, имеющую протяженность более 300 км, очерчивающую границу распространения складчатого пермско-триасового комплекса пород [7].

II. Результаты исследований, направленные на решение данной проблемы, в общих чертах подтвердили и **вариант А.П. Карпинского** о структурно-формационной связи Южного Урала с Тянь-Шанем, но только его восточного склона. Это обосновывается тем, что Главный Уральский надвиг, являющийся также своеобразным дислокационным поясом трансрегионального уровня, протягивается вдоль границы Уралтау (центральная часть складчатой области) и восточного склона Южного Урала, сворачивая к востоку, через меланж Султан-Уиздага, направляется к Тянь-Шаню.

III. Очевидна правота А.Л. Яншина в отношении центральной зоны Урала. В современном виде это действительно так. Однако в то время материалов **по сравнительному анализу структурно-формационных связей Северного Кавказа и Южного Урала** еще не существовало. Поэтому предвидение Н.С. Шатского [3] сбылось только в результате проведенных нами исследований в период 2010–2015 гг. [8]. Краткие сведения об этом.

В тектоническом районировании Северного Кавказа, в северной части Транскавказской палеозойской зоны субмеридионального направления, известна структурная единица, получившая название Лабино-Малкинский тектонический блок. Он состоит из нескольких структурно-формационных единиц. Это зоны: Бечасынская, Андрюкско-Тоханская и Передового хребта.

**Бечасынская зона** сложена миогеосинклинальными образованиями докембрия и палеозоя (рис. 5). Здесь к докембрию относятся чегемская и хасаутская свиты верхнего рифея. В их составе преобладают метаморфизованные породы, преимущественно осадочного генезиса. Абсолютный возраст пород **900–860** млн лет. Типы пород каратауской серии Башкирского антиклинория западного склона Южного Урала характеризуются такими датировками: абсолютный возраст катавской свиты **938** млн лет, а инзерской **853–867** млн лет.

Палеозойские образования Бечасынской зоны залегают на докембрийских образованиях с резким угловым и азимутальным несогласием. В основании палеозоя находится урлешская свита, по составу и характеру залегания аналогичная ордовикским образованиям Зилаирского синклинория Южного Урала (рис. 6).

Выше залегают осадки силура и девона, которые в Бечасынской зоне представлены фациями: карбонатно-терригенной и сланцево-кремнистой. Вторая из них тяготеет к глыбово-меланжевой зоне Малкинского гипербазитового массива. В северной части Зилаирского синклинория наблюдается подобная картина.

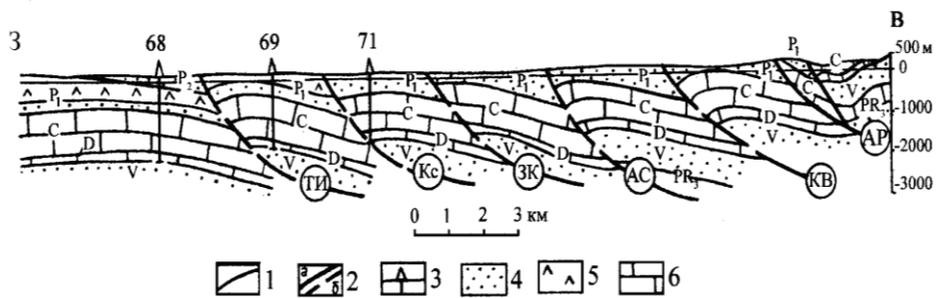
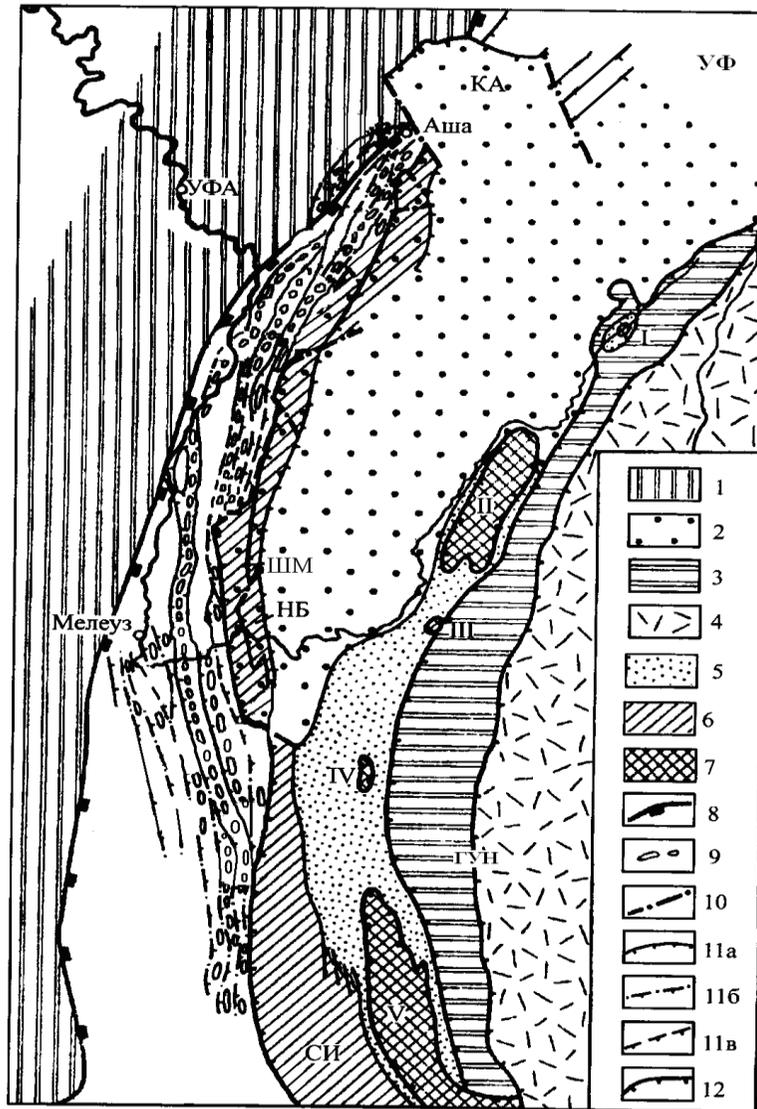


Рис. 1. Структурная схема Южного Урала и разрез через Бельскую впадину на широте г. Стерлитамака. По Ю.В. Казанцеву [6]:

1 – Восточно-Европейская платформа; 2 – Башкирский антиклинорий (КА – Каратауский аллохтон); 3 – зона Уралтау; 4 – Магнитогорский синклиний; 5 – область распространения флиша зилаирской свиты ( $D_3 - C_1$ ); 6 – тектонические пластины передовых складок Урала: НБ – Нугушско-Биккузинская, СИ – Сакмаро-Икская, ШМ – Шидинско-Мурадымовская; 7 – шарьяжи: УФ – Уфимский амфитеатр; I – Турлянский, II – Кракинский, III – Кзылбалыкский, IV – Малосуреньский, V – Сакмарский; 8 – западная граница Предуральского прогиба; 9 – фронтальные антиклиналы; 10 – сдвиги; 11 – надвиги установленные (а), выявленные геофизическими методами (б) и предполагаемые (в); ГУН – Главный Уральский надвиг; 12 – фронтальные зоны тектонических пластин и покровов

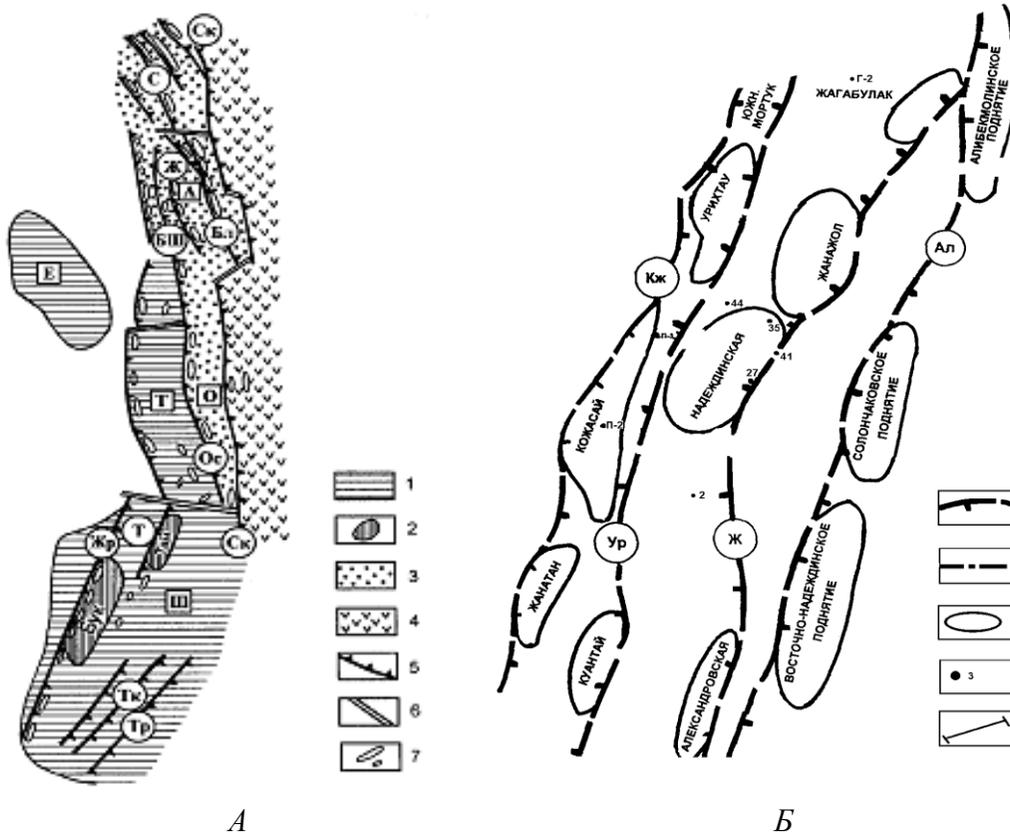


Рис. 2. А – схема тектоники восточного борта Прикаспийской впадины; Б – схема структуры Тамдыкольской вершины Ширкалинского свода. По К.Х. Бакирову (1983):

А: 1 – крупные поднятия: Е – Ембекское, Т – Темировское, Ш – Ширкалинский свод; 2 – вершины Ширкалинского свода: Бук – Букембайская, Там – Тамдыкольская; 3 – крупные прогибы: А – Актюбинское Предуралье, О – Остансукский; 4 – западная зона Уральской складчатой системы; 5 – надвиги: Ск – Сакмаро-Кокпектинский, С – Синтасский, Бл – Белогорский, Ж – Жилинский, Бш – Биштамакский, Ос – Остансукский, Т – Тамдыкольский, Жр – Жаркамысский, Тк – Торткольский, Тр – Терескенский; 6 – сдвиги; 7 – локальные складки. Б: 1 – надвиги; 2 – сдвиги; 3 – своды структур; 4 – скважины; 5 – линии разрезов

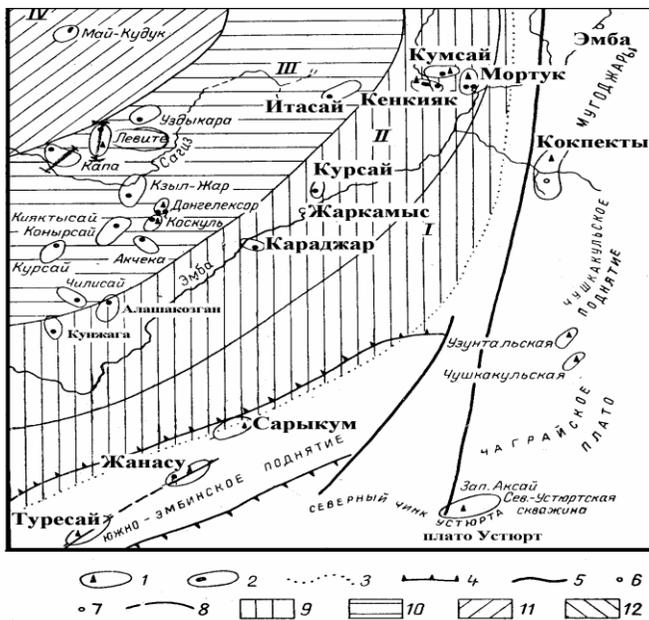


Рис. 3. Фрагмент схемы тектоники и перспектив нефтеносности Северо-Эмбинского солянокупольного района. По В. С. Днепрову (1959):

1 – структуры в бурении; 2 – нефтяные месторождения; 3 – граница распространения соляных куполов и структур переходного типа; 4 – граница Южно-Эмбинского поднятия; 5 – линии тектонических нарушений; 6 – выходы нефти; 7 – нефтегазопроявления; 8 – граница зон. Районы: 9, 10 – перспективной нефтеносности; 11 – возможной перспективности; 12 – невыявленных перспектив. Зоны: I – структур переходного типа; II – восточная, соляных куполов; III – центральная, соляных куполов Северной Эмбы; IV – соляных куполов между речья Сагиз – Уил

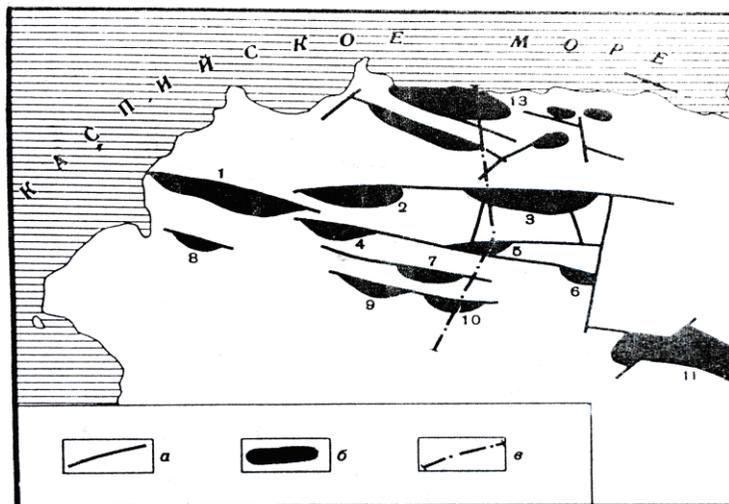


Рис. 4. Схема разрывных нарушений и локальных поднятий п-ва Бузачи по В.И. Попкову:  
а – разрывы; б – локальные поднятия;  
в – линия сейсмического профиля

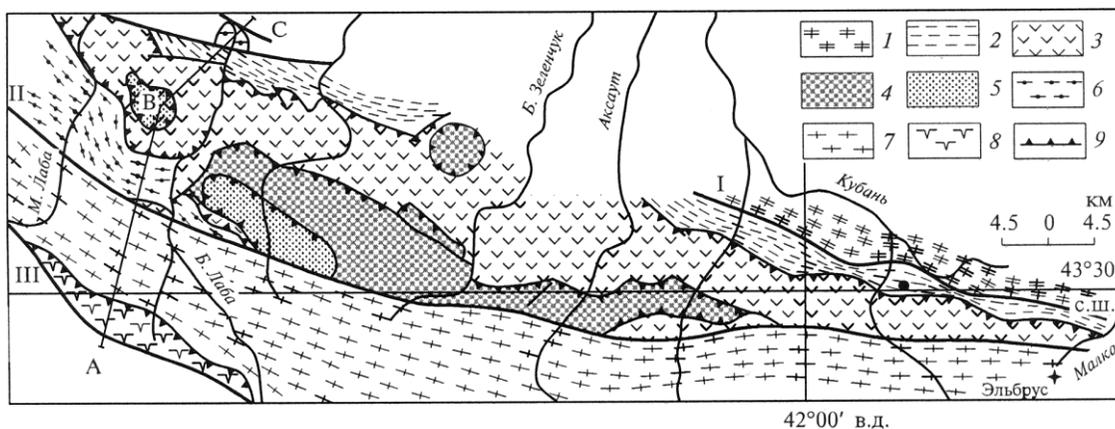


Рис. 5. Схема строения Северного Кавказа. По М.Л. Сомину и др. (2009) с изменениями:  
Комплексы: 1 – бечасынский метаморфический, 2 – тоханский, преимущественно осадочный, 3 – кызыл-кольский (урупский) – вулканогенно-осадочный, 4 – марухский – офиолитовый, 5 – ацгаринский метаморфический; 6 – блыбский метаморфический; 7, 8 – макерский, гондарайский и лабинский Главного хребта; 9 – подошва основных покровов; основные разломы Большого Кавказа: I – Северный, II – Пшекиш-Тырныаузский, III – Главный Кавказский

Все названные выше образования в пределах изучаемой территории не метаморфизованы. Они прошли лишь стадию катагенеза и были подвержены динамометаморфизму, связанному, вероятно, с развитием надвигов и сдвигов. Сопровождались расщеплением, будинированием и брекчированием.

Выявление общности тектонических условий происхождения и геодинамических режимов развития складчатых областей Урала и Кавказа в домезозойский период рассмотрены на примере одной из главных геологических вещественных единиц – **офиолитовой формации Кракинских гор западного склона Южного Урала** [9] и

**Малкинского гипербазитового массива Бечасынской зоны Северного Кавказа** [8]. Установлены общие особенности геологического строения, которыми являются: субплатформенный тип разреза, как докембрия, так и палеозоя; структурное совмещение разнофациальных типов силура, образовавшихся в различной палеотектонической обстановке и отличающихся интенсивностью смятия с присутствием изоклиальной складчатости; пластинчато-надвиговой стиль тектоники. Характерные черты офиолитовой формации Южного Урала и Северного Кавказа следующие. Контрастность рельефа, присущего гипербазитам и вмещающим их породам. Пре-

имущественно гарцбургитовый состав, при подчиненности лерцолитов и дунитов. Высокая степень серпентинизации всех ультраосновных пород. Малая мощность гипербазитовых тел. Тектонические взаимоотношения с вмещающими породами. Одинаковый стратиграфический диапазон подстилающих образований от докембрия до среднего палеозоя включительно. Тектоническая совмещенность разнородных типов

палеозойского разреза. Идентичность геохронологической периодизации. Приведенные особенности характерны для домезозоя как Бечасынской зоны Северного Кавказа, так и пограничной зоны Зилаирского синклиория с Башкирским антиклинорием на Южном Урале. Это свидетельство общности тектонических условий их происхождения и развития.

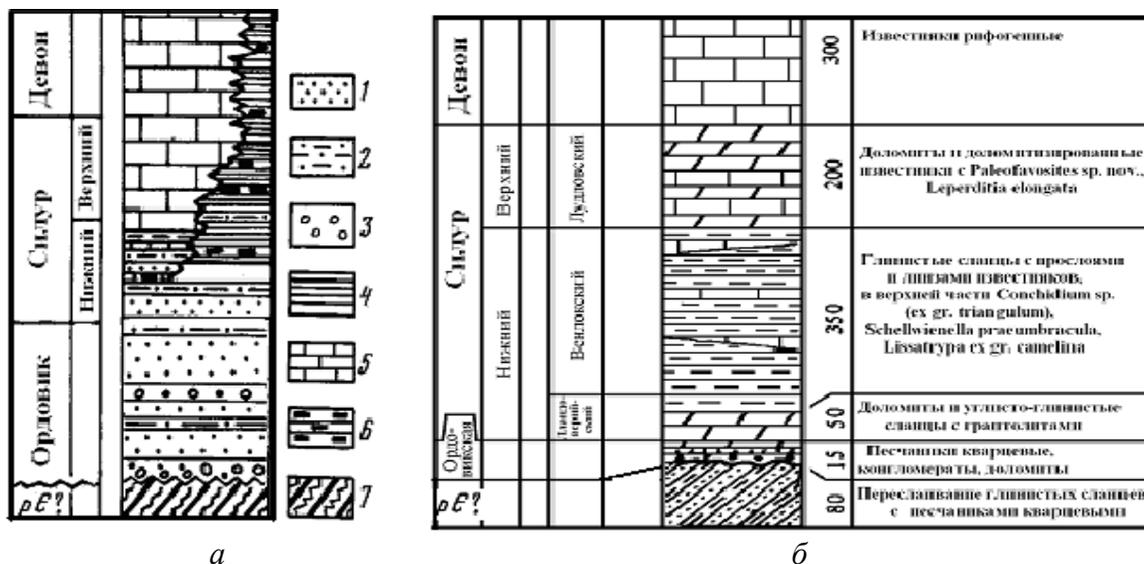


Рис. 6. Стратиграфическая колонка: а – нижнепалеозойских отложений Бечасынской зоны Северного Кавказа по Е.В. Хаину; б – Зилаирского синклиория Южного Урала по Т.Т. Казанцевой [9]:

1 – аркозовые песчаники; 2 – алевриты; 3 – конгломераты; 4 – глинистые и алевритовые сланцы; 5 – известняки; 6 – кремни; 7 – метаморфические сланцы хасаутской серии

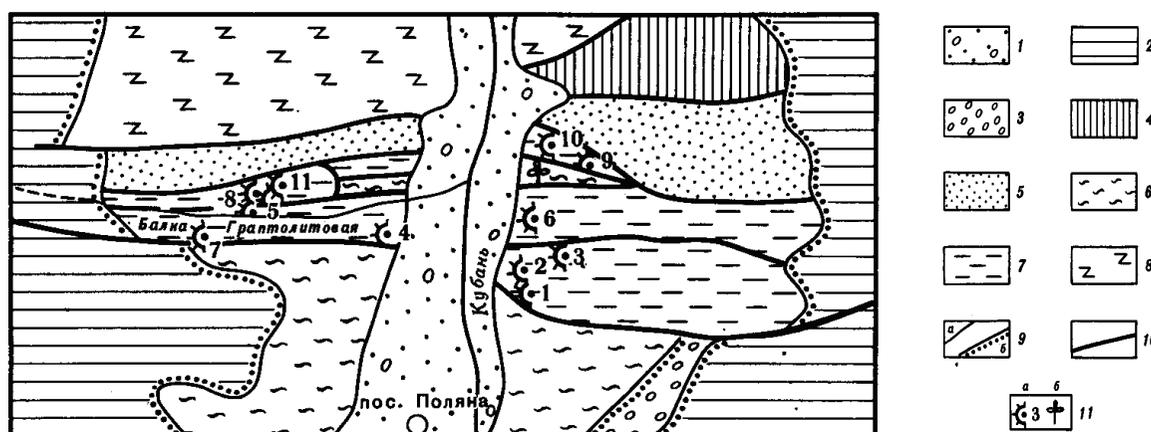


Рис. 7. Схема геологического строения долины р. Кубань, в р-не пос. Поляна. По Е.В. Хаину (1984).

Отложения: 1 – четвертичные; 2 – нижней юры; 3 – нижней перми; 4 – каменноугольные; 5 – верхнего девона (тоханская свита); 6 – среднего девона (артыкчатская свита); 7 – верхнеландоверийско-нижнелудловская «офиолитокластовая» олистостромовая толща; 8 – протерозоя; 9 – стратиграфические границы: а – согласные, б – несогласные; 10 – тектонические нарушения; 11 – местонахождения: а – граптолитов и номер находки, б – флоры

**Андрюкско-Тоханская зона** располагается южнее Бечасынской (см. рис. 5). Разграничивает названные единицы Северный разлом, к которому приурочена цепочка гипербазитовых тел, сопровождаемых зонами меланжа.

Структура сложена окраинно-континентальным типом разреза палеозойских отложений, представленных образованиями, называемыми здесь **сланцевой толщей**. В западной части зоны они выделены Д.С. Кизевальтером в **андрюкскую свиту**. В основании ее разреза залегает мощная монотонная толща **филлитов** с редкими прослоями мелкозернистых песчаников, алевролитов и туфов кислого состава. В восточной части зоны этим же исследователем сланцевая толща на севере названа **тоханской свитой**, а на юге – в **артыкчатской**. **Тоханская свита** представлена флишоидами: пестроцветными песчаниками, алевролитами и конгломератами позднедевонского и раннекаменноугольного возраста. **Артыкчатская** же сложена монотонной толщей **глинистых сланцев**, перекрытых верхнедевонскими и нижнекаменноугольными терригенно-карбонатными образованиями. Между тоханской и артыкчатской свитами известен горизонт крупноглыбовых пород (олистостром) с кластическим материалом кремней и кремнистых сланцев силура, иногда живецких известняков. Возраст пород свиты считался ниже-среднедевонским. Удревнение возраста до силура (иногда называют и ордовик) связано с появлением здесь работ уральского геолога Л.Д. Чегодаева, известного нам как специалиста по разрезам силура Урала. В основании горизонта олистостром среди сланцевых образований в маломощном, но протяженном слое темноокрашенных кремней он обнаружил граптолиты силура.

В этой зоне Северного Кавказа присутствует и терригенная флишоидная **картджуртская свита**, в которой имеются линзы и пачки обломочных пород полимиктового состава, включающие небольшие глыбы известняков, содержащих живецкую и даже верхнедевонскую фауну. Потому верхнюю часть названной свиты относят к франскому (верхнедевонскому) олистоstromу. Типично-сланцевыми формациями здесь являются только андрюкская и артыкчатская. Флишевый характер тоханской и картджуртской свит

свидетельствует о высоких напряжениях тангенциального сжатия в период их образования, что и подчеркивается присутствием в их составе олистостромовых горизонтов (рис. 7).

Показано, что **сланцевые толщи** доверхнедевонского возраста, представленные андрюкской и артыкчатской свитами Андрюкско-Тоханской зоны Северного Кавказа, совместно с олистоstromами, кремнистыми, кремнистоглинистыми и тонкотерригенными породами силура, являются подобием образований, что присутствуют на западном склоне Южного Урала. В частности, они сравнимы со сланцевыми образованиями палеозоя западной части Уралтауской структуры (рис. 8, а), с подофиолитовой тектонической единицей Кракинского шарьяжа (рис. 8, б), а также одной из северных пластин Сакмарского аллохтона, выделенных Ю.В. Казанцевым (рис. 8, в). Это касается и развития в последних олистостромовых горизонтов.

Флишоиды тоханской свиты верхнего девона – нижнего карбона являются формационным и возрастным аналогом зилаирской свиты Южного Урала.

Зона **Передового хребта** представлена несколькими аллохтонными пластинами (рис. 9).

Наиболее доказанными из них являются: **Кызылкольский (Урупский) аллохтон**, преимущественно вулканогенного состава, предположительно ниже-среднедевонского возраста. **Марухский аллохтон**, состоящий из нескольких тектонических чешуй с большим участием офиолитов, возраст которых **416–450** млн лет. **Ацгаринский покров**, представленный метаморфизованными толщами в основном по осадочным сериям. Абсолютный возраст их – **400–360** млн лет. Наиболее высокое значение К-Аг возраста – **470±14** млн лет получено по роговой обманке из амфиболита. **Блыбский покров** состоит из метаморфитов по породам основного состава с участием эклогитов и серпентинитов. Датировки регионального метаморфизма, определенные по цирконам, отражают его возраст, равный **460–320** млн лет. Для Gr-Ph-Amf сланцев – группы зерен **2471–1500, 653–499** и около **374** млн лет по детритовым цирконам. При датировании магматических цирконов из ортогнейсов балки Копцева, Малая Лаба получен возраст **549** млн лет.

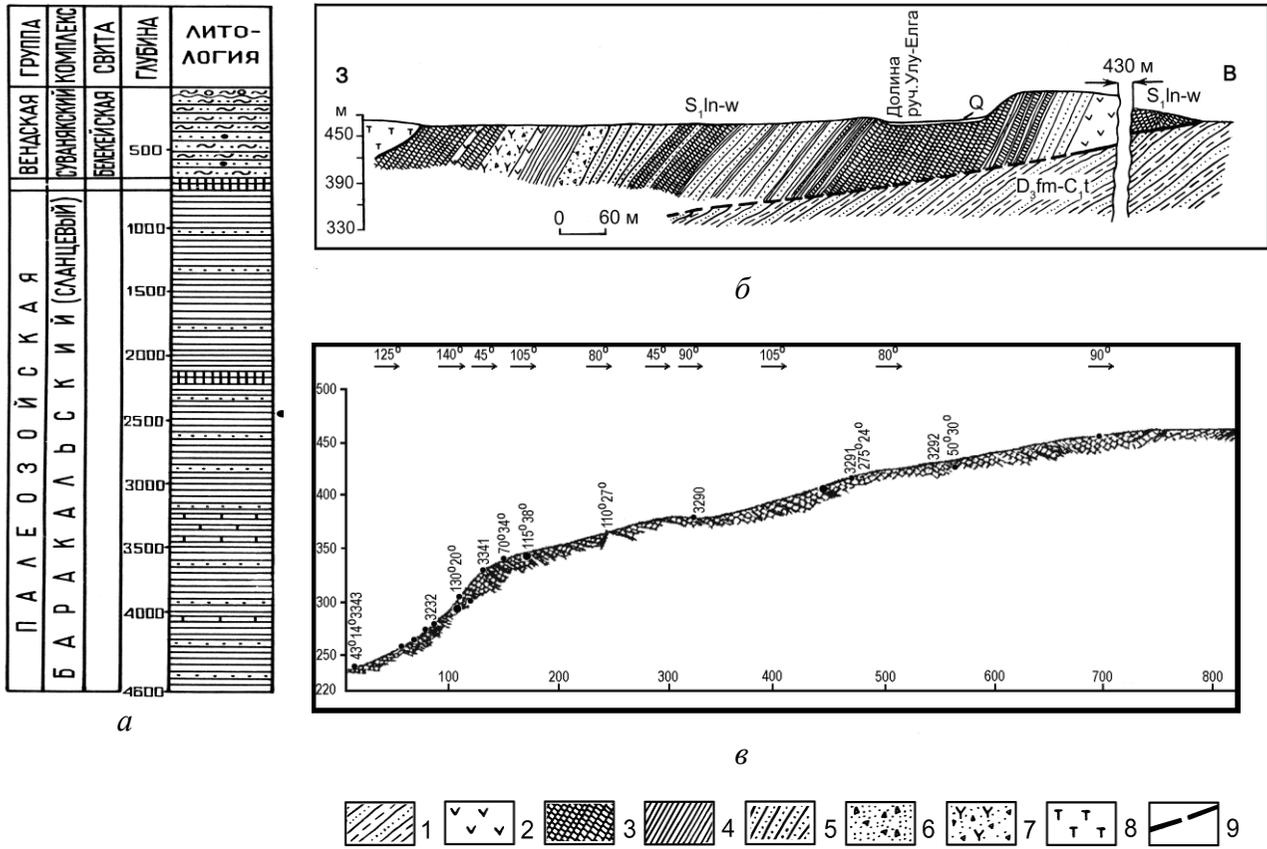


Рис. 8: *а* – геологический разрез района скв. Уралтауская-1; *б* – крупный блок силура в пограничной зоне гипербазитов Южного Крака и флиша зилаирской свиты в районе д. Абдулмамбетово. Западный склон Южного Урала; *в* – геологический разрез отложений силура северо-восточнее д. Бол. Абишево. По Ю.В. Казанцеву: 1 – терригенный флиш; 2 – серпентиниты; 3 – кремнистые сланцы; 4 – глинистые сланцы; 5 – песчаники; 6 – брекчированные породы; 7 – туффииты; 8 – гипербазиты; 9 – тектонический контакт

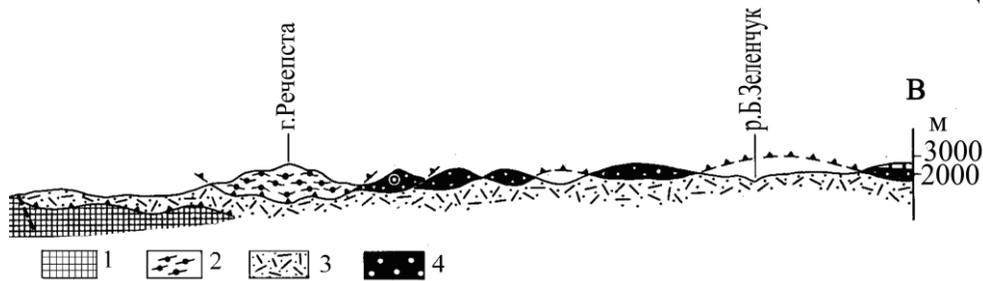


Рис. 9. Фрагмент схематического геологического профиля через Передовой хребет. По Е.В. Хаину (1984): 1 – Блыбский комплекс; 2 – Аугаринский комплекс; 3 – Кызылкольская пластина; 4 – пластины офиолитов Марухского покрова

Вулканыты Кызылкольского аллохтона сопоставляются с тектоническими пластинами Сакмарского шарьяжа Южного Урала. В частности [8] и с Медногорско-Кувандыкской пластиной Ю.В. Казанцева. Хорошее сопоставление изверженных пород сравниваемых объектов сделано в [10], согласно которым здесь разрез состоит из двух типов. Это не-

прерывно-дифференцированная вулканическая серия с лавами основного и среднего состава в нижней части, лавами среднего и кислого состава и их туфами в верхней (кызылкольская свита), а также контрастная серия (даутская свита). В основании ее наблюдаются недифференцированные базальты, которые вверх сменяются контрастной базальт-

липаритовой толщей. В самой верхней части большую роль играют пирокластические образования. Здесь мы видим вулканическую серию тектонического цикла почти в полном объеме. Слагающие ее формации (от недифференцированной до флишевой), их структурные и минералогические особенности свидетельствуют о преобладании тектонического (геодинамического) режима от низких давлений и высоких температур, постепенно повышающихся давлений и снижающихся температур, завершающихся максимальными значениями тектонических напряжений. Эти выводы сделаны в соответствии с разработанной в Институте геологии УНЦ РАН вещественно-структурной методикой геодинамических реконструкций. С.Г. Самыгин и Е.В. Хаин сопоставляют перечисленные свиты Северного Кавказа с блявинской и утягуловской свитами Сакмарского аллохтона. Как они пишут: «сходство в строении и развитии ряда западных структурных зон Южного Урала и северных структурно-формационных зон Северного Кавказа совпадает во многом, вплоть до мелочей».

Марухская тектоническая пластина Передового хребта, как это наблюдается и в пределах западного склона Южного Урала, сложена преимущественно офиолитовым комплексом, который традиционно связывается с океанической корой геологического прошлого.

Блыбский и ацгаринский комплексы Передового хребта Северного Кавказа по составу, особенностям структурной геологии и возрасту идентичны суваянскому и максютовскому комплексам Уралтауской антиформы Южного Урала.

Хорошо сопоставимы основные критерии сравнительности максютовского метаморфического комплекса зоны Уралтау Южного Урала и блыбского комплекса Передового хребта Северного Кавказа. Подмечены следующие общности. Аллохтонное структурное положение, пластинчато-надвиговый стиль тектоники. Особый породный состав комплекса, характеризующийся присутствием эклогитов и офиолитов. Контрастность первичного состава с участием субстрата континентального и океанического происхождения. Равнозначность метаморфических преобразований

(до высоких ступеней). Возраст первичных пород (докембрий либо палеозой). Несколько периодов их метаморфизации, близко одно-возрастных для сравниваемых объектов в интервалах нижнего – верхнего палеозоя.

Геология метаморфического суваянско-го комплекса зоны Уралтау Южного Урала и ацгаринского – Передового хребта Большого Кавказа имеют следующие общие черты. Их структурное положение – аллохтонное, а взаимоотношения с сопредельными структурными элементами – тектонические. Они хорошо сопоставляются по особенностям пластинчато-надвигового стиля тектоники. В их первичном (до метаморфизма) составе преобладают породы преимущественно осадочного генезиса. Выявляется общность в характере метаморфических преобразований сравниваемых комплексов. Это довольно низкие ступени метаморфизма. Дискутируется проблема возраста субстрата – докембрий либо палеозой. На современной стадии изученности решение этого вопроса находится на уровне равнозначной неопределенности как по данным геохронологии, так и по палеонтологическим находкам. Изложенные выше соображения по структурно-формационным связям Северного Кавказа и Южного Урала свидетельствуют о хорошей их сопоставимости и вероятной общности истории их геодинамического развития.

**Общий вывод.** На современной стадии изученности южное окончание Урала (Предуральский прогиб, частично западная часть Зилаирского синклинория) направляются к западу. Центральная зона, представленная восточной частью Зилаирского синклинория и хребтом Уралтау, обнаруживается на Северном Кавказе (Лабино-Малкинский тектонический блок). Восточный склон Урала через Султан-Уиздаг соединяется с Тянь-Шанем. Возможно, такое трехчленное окончание Южного Урала связано, как это полагали сначала А.П. Карпинский, затем А.Д. Архангельский, с влиянием Устюрта – «подземного горста», одного из выступов кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы. Не исключается и вариант шарьирования части центрального Урала в пределы территории Северного Кавказа.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Архангельский А.Д., Федынский В.В. Геологические результаты гравиметрических исследований в Средней Азии и Юго-Западном Казахстане // Изв. АН СССР. 1936. Т. 1, № 1.
2. Гарецкий Р.Г., Шлезингер А.Е., Яншин А.Л. Глубинное строение района Южно-Эмбинского гравитационного максимума в свете новейших геологических и геофизических данных // Геология и нефтегазосность восточной части Прикаспийской впадины и ее обрамлений. М.: Гостоптехиздат, 1962. С. 299–307.
3. Шатский Н.С. О структурных связях платформ со складчатыми геосинклинальными областями / Сравнительная тектоника древних платформ // Изв. АН СССР. 1947. Серия геол. № 5. С. 3.
4. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. О методике картирования дислокаций горизонтального сжатия // Геология и разведка. 1990. № 1. С. 113.
5. Казанцева Т.Т. Фундаментальные проблемы геологии Южного Урала. Уфа: Гилем, 2016. С. 310.
6. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. Трансект через Южный Урал. Уфа, 1992. С. 25.
7. Попков В.И. Тектоника запада Туранской плиты. М.: ИГиРГИ, 1992.
8. Казанцева Т.Т. К сравнительному анализу структурной геологии Южного Урала и Кавказа в палеозое // Известия Уфимского научного центра РАН. 2013. № 1. С. 70–79.
9. Казанцева Т.Т. К стратиграфии зилаирской серии на западном склоне Южного Урала // Доклады Академии наук. 1970. Т. 194, № 3. С. 649–652.
10. Самыгин С.Г., Хаин Е.В. Южный Урал и Северный Кавказ в палеозое – опыт сравнения // Геотектоника. 1985. № 2. С. 40–55.

**References**

1. Arkhangelsky A.D., Fedynsky V.V. Geological results of gravimetric research in the Central Asia and south-western Kazakhstan. Izvestiya AN SSSR, 1936, vol. 1, no. 1.
2. Garetsky R.G., Shlezinger A.E., Yanshin A.L. Deep structure of the zone of the South-Emba gravity maximum in the light of recent geological and geophysical evidence. Geologiya i neftegazonosnost vostochnoy chasti Prikaspiyskoy vpadiny i ee obramleniy. Moscow, Gostoptekhizdat, 1962, pp. 299–307.
3. Shatsky N.S. On structural bonds between platforms and folded geosynclinal zones. Izvestiya AN SSSR, 1947, Ser. Geologiya, no. 5, p. 37–56.
4. Kazantsev Yu.V., Kazantseva T.T. On mapping techniques of horizontal compression dislocations. Geologiya i razvedka, 1990, no. 1, p. 113–121.
5. Kazantseva T.T. Fundamental problems of geology in the South Urals. Ufa, Gilem, 2016. 310 p.
6. Kazantsev Yu.V., Kazantseva T.T. Transect through the South Urals. Ufa, 1992. 25 p.
7. Popkov V.I. Tectonics of the western Turanian Plate. Moscow, IGI RGI, 1992.
8. Kazantseva T.T. On comparative analysis between structural geology of the South Urals and the Caucasus during the Paleozoic. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 2013, no. 1, pp. 70–79.
9. Kazantseva T.T. The stratigraphy of the Zilair series on the western slope of the Southern Urals. Doklady Earth Sciences. 1970, vol. 194, no 3, pp. 649–652.
10. Samygin S.G., Khain E.V. The South Urals and North Caucasus during the Paleozoic: An attempt of comparison. Geotektonika, 1985, no. 2, pp. 40–55.

**CLARIFYING THE LONG-STANDING PROBLEM ON THE STRUCTURAL CONTINUATION OF THE SOUTH URALS**

© T.T. Kazantseva

Institute of Geology, Ufa Scientific Centre, RAS,  
16/2, ulitsa Karla Marksa, 450075, Ufa, Russian Federation

The long-standing geological problem on the structural continuation of the South Urals has been under consideration for several decades. It was the focus of attention of such outstanding Russian tectonists as A.P. Karpinsky, A.D. Arkhangelsky, A.L. Yanshin and N.S. Shatsky, each of whom justified his own point of view. As a result, the versions they proposed were as follows: the southern extremity of the Urals continues westward in the direction of the Donbass Region; it extends eastward to merge into the Tien Shan mountain system; it turns neither to the west nor to the east and becomes overlapped by troughs made of molasses; it can be traced under the Mesozoic deposits of the Caucasus. The research performed by the author of this article gives proof to the proposal that the Cis-Urals and part of the western slope of the South Urals turn westward in the direction of the Donbass Region. The central zone of the Urals that embraces the eastern part of the western slope and the Uraltau Ridge correlates by its structure-formational, age and geodynamic features to the pre-Mesozoic units of the North Caucasus (Laba-Malka tectonic block). The eastern slope of the Urals merges into the Tien Shan through the Sultan-Uizdag Mountains. Perhaps this three-membered termination of the South Urals is dictated, as it was supposed first by A.P. Karpinsky and then A.D. Arkhangelsky, by the influence of the Ustyurt Plateau ("subsurface horst"), one of the projections of the crystalline basement of the East European Platform.

Key words: problem, structural bond, formation substantiation, tectonic block, crystalline basement, horst, geodynamics, molasses.

УДК 392.3(= 512.141)

**ПЕРЕЖИТКИ МАТЕРИНСКОГО РОДА У БАШКИР В IX–XVI ВВ.**

© Ш.Н. Исянгулов

В IX–XVI вв. у башкир полностью господствовали патриархально-родовые отношения, моногамная семья, вирилокальный брак. В то же время продолжали сохраняться многочисленные пережитки материнского рода. В историографии данный вопрос изучен неудовлетворительно. Исследователи обращали внимание на выявление пережитков матриархальных отношений в эпическом наследии башкир, отражавших в основном период древности и в лучшем случае эпоху раннего средневековья (до X в.). Также учеными изучены следы матриархата в семейной обрядности у башкир (тайные добрачные посещения женихом невесты, первоначальная свадьба на стороне невесты, обычаи «возвращения домой» молодой жены, избегания между зятем и родителями невесты, следы авункулата и др.). В целом вопрос о пережитках материнского рода у башкир в IX–XVI вв. в историографии не ставился и специально не изучался.

В статье рассматриваются такие пережитки материнского рода у башкир в IX–XVI вв., как следы уксорилокальности брака, матрилинейности счета родства в наследовании социального статуса и некоторые другие вопросы.

В IX–XVI вв. в башкирском обществе, несомненно, браки были вирилокальными, хотя продолжали сохраняться пережитки уксорилокального брака. Нередко женщины принимали участие в мужских развлечениях, в военных действиях. Сохранились предания о женщинах-воительницах. В средневековых погребениях встречаются отдельные погребения вооруженных женщин. Нередко женские погребения, как и мужские, содержат останки лошади. Последнее обстоятельство (останки лошадей) в женских могилах означает, что их общественное положение было не ниже, чем положение мужчин. Возможно, вооруженные женщины участвовали в боях в составе легкой кавалерии, о чем свидетельствуют седла и другой конный инвентарь. Ряд данных свидетельствуют о возможном сохранении матрилинейности рода у башкир в указанный период. Возможно, об этом свидетельствуют погребения женщин с младенцами. Возможно, у башкир также сохранялись какие-то пережитки матрилинейности счета родства в рассматриваемый период. У башкир существовал обычай получения плода от мужчины (батыров, знатных людей). Иногда наследование власти, социального статуса происходило по материнской линии. Однако в большинстве своем башкирское общество было, несомненно, патрилинейным. У башкир сохранились предания и легенды и о том, как женщины возглавляли государственные образования, родо-племенные структуры. Причинами относительно высокого положения женщин были существование полукочевое скотоводческое хозяйство, слабое проникновение ислама, особенности этногенеза и этнической истории башкир в рассматриваемый период.

Ключевые слова: материнский род, башкиры, уксорилокальный брак, матрилинейность, женщины.

В IX–XVI в. у башкир полностью господствовали патриархально-родовые отношения, моногамная семья, вирилокальный брак. В то же время продолжали сохраняться многочисленные пережитки материнского рода. В историографии данный вопрос изучен неудовлетворительно. Исследователи обращали внимание на выявление пережитков матриархальных отношений в эпи-

ческом наследии башкир, отражавших в основном период древности и в лучшем случае эпоху раннего средневековья (до X в.). Также учеными изучены следы матриархата в семейной обрядности у башкир (тайные добрачные посещения женихом невесты, первоначальная свадьба на стороне невесты, обычаи «возвращения домой» молодой жены, избегания между зятем и родителями

невесты, следы авункулата и др.). В целом вопрос о пережитках материнского рода у башкир в IX–XVI вв. в историографии не ставился и специально не изучался.

В статье рассматриваются такие пережитки материнского рода у башкир в IX–XVI вв., как следы уксорилокальности брака, матрилинейности счета родства в наследовании социального статуса и некоторые другие вопросы.

Ряд фольклорных источников позволяют сделать вывод, что башкирские женщины не только пользовались большой личной свободой, но и занимали высокое положение в обществе. Исследователи отмечали, что в эпосе «Алпамыша и Барсынхылу» получили отражение разложение матриархальных и установление патриархальных отношений. В некоторых вариантах эпоса Алпамыша входил в род жены, в других – новая семья создается на горе, на которой состязались (уксорилокальный брак). Барсынхылу выходит за него замуж лишь после поединка и своего поражения. В IX–XVI вв. в башкирском обществе, несомненно, браки были вирилокальными, хотя продолжали сохраняться пережитки уксорилокального (или по старой терминологии – матрилокального) брака.

Нередко женщины принимали участие в мужских развлечениях, в военных действиях. Так, необыкновенной силой отличается главная героиня в эпосе «Алдар и Зухра». Она возглавляла молодых джигитов во время охоты. После победы над белым медведем Зухра получает почетное звание батыр-кыз. За Алдара она выходит замуж лишь после его победы над ней в ходе состязаний [1, с. 331–463]. В предании «Акман-токман» рассказывается, что борьбу против Золотой Орды после смерти своего мужа Сурамана возглавила его жена [2, с. 168–169]. Имеются и другие предания о женщинах-воительницах [2, с. 45–47, 78–79, 107–108, 169–170, 180 и др.].

В средневековых погребениях встречаются отдельные погребения вооруженных женщин. Так, в памятниках X–XIV вв. в женских погребениях встречались наконечники

копий, стрел, остатки колчанов, ножи (они, возможно, не имеют военного значения), а также элементы конского снаряжения. Наконечники стрел, элементы конского снаряжения, ножи встречаются в женских погребениях IX–XIV вв. и на Южном Урале [3, с. 75, 82 и др.]. Так, под курганом 16 Лагеревского могильника (IX–X вв., Салаватский район РБ) обнаружено женское погребение, которое содержало украшения, элементы конского снаряжения, один железный и три костяных наконечника стрел, кости лошади [3, с. 75]. Примечательно, что половина погребений кыпчаков Урало-Поволжья XIII–XIV вв. с целым остовом коня являются, скорее всего, женскими, так как их вещевой инвентарь представлен ожерельями из стеклянных бус, бронзовыми зеркалами [4, с. 166]. Нередко женские погребения, как и мужские, содержат останки лошади. Последнее обстоятельство (останки лошадей) в женских могилах означает, что их общественное положение было не ниже, чем положение мужчин. Несмотря на это нельзя не отметить, что погребения вооруженных женщин на Южном Урале в IX–XIV вв. все же единичны. Однако наличие подобных памятников позволяет утверждать, что отдельная часть женщин (возможно, молодых девушек) принимали участие в военных действиях. Основным видом оружия в женских погребениях являются лук и стрелы, а мечи, сабли, кинжалы, копья – не встречаются. Скорее всего, вооруженные женщины участвовали в боях в составе легкой кавалерии, о чем свидетельствуют седла и другой конный инвентарь.

Ряд данных свидетельствует о возможном сохранении матрилинейности рода у башкир в указанный период. Так, о высоком положении погребенной женщины свидетельствует материалы кургана 2 I Бекешевских курганов (IX–X вв., караякуповская культура, Баймакский район РБ). Как писал Н.А. Мажитов, «почти каждый предмет, найденный в нем, говорит о происхождении ее из богатой семьи». Здесь найден богатый пояс, седло, покрытое берестой, кожей и большими серебряными пластинками. Рядом в люльке или гробу нахо-

дился грудной младенец [5, с. 124–125; см., также: 3, с. 57–60]. Также примечателен курган 1 II Юлдыбаевского могильника (XIII–XIV вв., кыпчаки, Зилаирский район РБ), в котором в 1963 г. М.Х. Садыковой был раскопан скелет женщины, под тазовыми костями которого обнаружены останки младенца. По предположению М.Х. Садыковой, это не погребение матери с ребенком, а женщины, умершей при родах [6]. Подобные женские погребения обнаружены также в I Азьметьевском могильнике (XI–XIV вв., чияликская культура, Актанышский район РТ). Здесь, в частности, в погребениях 69, 72 на левой ноге женщин расчищены остатки детских скелетов [7, с. 77].

Указанные примеры, возможно, намекают на матрилейность рода или свидетельствуют о ее пережитках. Ведь это должно означать, скорее всего, что младенец принадлежит роду матери, а не отца.

Возможно, у башкир также сохранились какие-то пережитки матрилейности счета родства в рассматриваемый период. Так, об этом свидетельствует легенда о лебеди у юрматынцев [2, с. 117]. Однако следует признать, что в целом в генеалогических преданиях башкир следы счета родства по материнской линии получили относительно слабое отражение. Примечательными источниками в данном вопросе являются родословные. Р.Г. Кузеев, комментируя одно из шежере юрматынцев, в котором были приведены имена 18 женщин, их детей, внуков, и даже правнуков, живших в XVIII–XIX вв., видел в этом пережитки почтительного отношения к женщине, слабые отголоски матриархата. По мнению Р.Г. Кузеева, составители шежере, возможно, еще помнили традицию, согласно которой потомки членов рода по женской линии могли причислить себя в равной мере как к роду отца, так и к роду матери [8, с. 204].

У башкир существовал обычай получения плода от мужчины (батыров, знатных людей). В шежере юрман-табынского рода сообщается, что некий Хани Углан из династии Чингизидов «взял в законные жены дочь герей Ялман-бия». «Спустя полтора го-

да после его женитьбы на дочери Ялман-бия родился мальчик, нареченный Туктар-бием. А затем скончался хан Астерхана (Астрахань) Тимуркутлу-хан, прибыл посланец сказать: «Сына у него нет!», – и вернуть Хани Углана, чтобы поставить его ханом города Астерхан. Тогда Кутлююл-сэсэн и его род пожелали: «Оставь нам, башкирскому юрту, человека из ханского рода!», – и оставили (им) Туктар-бия с матерью» [9, с. 218–219]. Повзрослев, Туктар-бий (потомок Чингизхана и бия башкирского рода герей) возглавил все же род юрман-табынцев (род герей, скорее всего, входил в табынскую конфедерацию племен). Таким образом, он наследовал социальный статус деда по материнской линии. Здесь мы видим и древний обычай получения плода от мужчины (в данном случае от Чингизида) в действии.

В шежере племени Суун-Кыпсак говорится о том, что один из внуков хана Золотой Орды Джанибека (правил в 1342–1357 гг.) – Зиянгул в годы Великой замятни в ходе борьбы за власть убил сына хана Бердибека (своего двоюродного брата) и бежал к башкирам. Здесь он попал под покровительство бия Акмачука (он, скорее всего, был вождем усерганцев). Бий отдал за него выкуп. Зиянгул один год прожил у Акмачука, имея статус сына (то есть был усыновлен бием). После этого, убив мужа Бибкей, родственницы бия Акмачука, ее отдали замуж за Зиянгула. От них произошли суун-кыпсаки [10, с. 74–75]. В обоих вышеприведенных случаях мужчина, от которого получен плод, является чужаком, более того, знатным человеком – потомком Чингис-хана, имеющим право на золотоордынский престол. Башкиры идут на многое (даже на убийство), чтобы получить имени того зятя, статус которого близок к статусу почетного пленника, заложника. Обычай получения плода от знатного мужчины изучен еще недостаточно. Однако ясно, что он в рассматриваемый период был связан с наследованием власти, социального статуса по материнской линии. Позже, в XVI в., после смерти бия юрматынцев Чачлы-дервиша, не имевшего сыновей, новым би-

ем стал его внук, сын дочери и зятя-ногайца – Бурнак [8, с. 55]. Таким образом, наследование власти также произошло по материнской линии.

Однако в большинстве башкирское общество было, несомненно, патрилинейным. Об этом свидетельствуют практически все шежере, в которых даются нисходящие родословные по мужской линии (от отца к сыну и т.д.).

Здесь мы должны также обратить внимание на особые отношения между сыном дочери и отцом матери. В некоторых вариантах эпоса «Бабсак и Кусяк» главный герой (Кусяк) воспитывается у деда со стороны матери – Турахана. При этом Турахана он считает отцом, обращается к нему «атай». В других вариантах фигурирует Ураз-хан, на коленях которого любил сидеть внук Кусяк [2, с. 50 и др.]. Как уже было сказано, Бурнак стал наследником своего деда по матери – бия юрматынцев Чачлы-дервиша. В связи с этим следует обратить внимание на терминологию родства у башкир. Деда и по отцовской, и по материнской стороне башкиры называют «олаатай» (буквально: «старший отец»). Между тем у некоторых групп башкир этим термином обозначают лишь отца матери, а для деда с отцовской стороны существует другой термин «картатай», «карттай». В иксакмарском говоре южного диалекта башкирского языка словом «олаатай» обращаются к дяде (мужскому родственнику старше родителей с обеих сторон) и вообще ко всем мужчинам старше родителей. Все это позволяет сделать вывод о генетической связи особых отношений между сыном дочери и отцом матери с обычаем, получившим название в научной литературе «авункулат» или «аванкулат». Авункулат предполагает особые отношения между дядей с материнской стороны и племянником. Пережитки авункулата в обычаях и обрядах башкир сохранились относительно слабо. В частности, об авункулате может свидетельствовать термин родства («олаатай») для обозначения дяди у южных башкир.

У башкир сохранились предания и легенды и о том, как женщины возглавляли

государственные образования, родоплеменные структуры. Нередко в них рассказывается о войнах между войсками молодой женщины-ханши и молодого хана [2, с. 74, 107–108]. Вот одно из них: «В стародавние времена женщина-батыр по имени Сэпэй бывала тут во главе войска. Ее стали называть Аби-хан-ата. В одном из жестоких сражений Аби-хан-ата (Сэпэй) погибла» [2, с. 180]. Иногда вдова бия становилась после смерти мужа во главе рода. Так, в предании «Биксура» рассказывается, что в 1230-е гг. после казни всех мужчин рода Карагай-Атая его вдова Асылташ, скорее всего, возглавила остатки рода, обосновавшись на священной горе Абиатау (буквально: Гора старухи) [2, с. 166–167]. О предводительстве родом и войсками вдовы Сурамана уже говорилось. Сохранились также предания о мудрой женщине, авлие (святой), возможной предводительнице рода Бэндэбике, мавзолеей которой сохранился до наших дней в Кугарчинском районе [2, с. 204–206]. Род или семью (родовое подразделение) в начале XVI в. возглавила после смерти мужа Тугызак-эби [1, с. 491–495].

До принятия ислама, возможно, некоторые женщины выполняли жреческие функции. В частности, в проведении женских праздников в XIX – начале XX вв. у башкир особую роль играли старшие распорядительницы, обычно пожилые женщины. Например, при проведении каргатуя (грачиного или вороньего праздника) распорядительница праздника у башкир-катайцев была облачена в бутафорский костюм. Возможно, что распорядительницы женских праздников в более ранний период составляли особую категорию населения, обязанности которых приближались к жреческим.

Женщины у кочевников евразийских степей нередко занимали довольно высокое положение в обществе. Однако положение и роль женщины в социальной структуре кочевнических обществ определялись формой кочевого скотоводства. Социальный статус женщины был изначально задан ее ролью в составе хозяйственного коллектива, местом в системе его внутренних функциональных

связей. В эпосе башкир также достаточно ясно показаны основные функции женщины. Зухра, героиня одноименного эпического произведения, признается, что в молодости не выполняла женскую работу: «Я не помогала матери моей ни в доении кобылиц, ни в делании крута, а иголку с веретеном и в руки не брала» [1, с. 356]. Однако Зухра была исключением из правила.

Изучение положения башкирской женщины в XVIII–XIX вв. позволило ученым сделать следующие выводы: башкирки пользовались относительно большей свободой, чем женщины других народов. Причинами такого явления были: 1) особенности кочевого скотоводческого хозяйства, когда труд женщины был важен не меньше, чем труд мужчины; 2) институт приданого, размер которого был иногда больше размера калыма, что обеспечивало независимое положение жены; 3) относительно слабое проникновение ислама в быт и семью башкир [см. работы С.И. Руденко, А.З. Асфандиярова, Р.Н. Сулеймановой и др.]. В свете отмеченного становится очевидным, что в более ранний период положение башкирской женщины было еще независимее и лучше, чем в XVIII–XIX вв.

Высокое положение женщины у башкир в дорусский период можно объяснить действием целого ряда факторов. Кроме социально-экономических причин (основой хозяйства башкир являлось кочевое и полукочевое скотоводство), господства язычества и лишь формального принятия мусульманства, некоторых особенностей семейной обрядности, следует указать и другие причины.

В частности, в состав башкир как субстрат вошли сармато-иранские этнические элементы. Ныне можно считать доказанным, что носители так называемой турбаслинской культуры V–VIII вв. в Приуралье являлись гунно-сарматскими племенами. Турбаслинцы, в свою очередь, отождествляются с племенем бурзян, впоследствии вошедшим в состав башкир. А в науке хорошо известно то положение, которое занимали в сарматском обществе женщины.

Мощным этническим пластом в составе башкир в XIII–XIV вв. стали кыпчаки и

кыпчакизированные племена. В кыпчакском обществе женщины также занимали высокое положение, ярким свидетельством чего являются знаменитые половецкие «каменные бабы». «Каменные бабы» обнаружены и на территории Башкортостана и Южного Урала, в том числе и женские [См.: 3, с. 156, 158, рис. 76].

Также следует обратить внимание на то обстоятельство, что в прошлом мужские и женские группы населения в обществе нередко являлись обособленными друг от друга, что объясняется существованием дуальной организации, родовой экзогамии и т.д. Принцип эндогамии башкирами в рассматриваемый период постоянно нарушался. В таких условиях относительная обособленность мужской и женской групп населения могла быть вполне реальной, особенно в духовной сфере. Все это могло способствовать определенной консервации пережитков материнского рода. Обособленность мужской и женской групп населения в прошлом доказывается и тем, что вплоть до наших дней у башкир сохранились особые женские (девичьи) календарные праздники, в которых взрослые мужчины не участвуют.

Таким образом, в IX–XVI вв. женщины (в основном молодые девушки) активно участвовали в военных действиях, занимали относительно высокое положение в обществе, возглавляли родо-племенные структуры. Возможно, сохранялись отдельные следы уксорилокальности брака (она могла быть вполне реальной в период раннего средневековья). Имеются сведения о существовании матрилинейности счета родства. Иногда, если отсутствовали сыновья, если род хотел видеть в качестве бия представителя Чингизидов, то и наследование власти происходило по материнской линии. Причины длительного сохранения пережитков материнского рода, относительно высокого положения женщины у башкир следует видеть не только в кочевом скотоводческом хозяйстве, слабом проникновении ислама, но и в особенностях этногенеза и этнической истории в рассматриваемый период.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башкирское народное творчество. Т. I. Эпос. Уфа: Башк. кн. изд-во, 1987. 544 с.
2. Башкирское народное творчество. Т. II. Предания и легенды. Уфа: Башк. кн. изд-во, 1987. 576 с.
3. Мажитов Н.А. Курганы Южного Урала VIII–XII вв. М.: Наука, 1981. 164 с.
4. Иванов В.А., Гарустович Г.Н., Пилипчук Я.В. Средневековые кочевники на стыке Европы и Азии. Уфа: Изд-во БГПУ, 2014. 396 с.
5. Мажитов Н.А. К вопросу о характере общественных отношений у средневекового населения Южного Урала (постановка вопроса) // Материалы по хозяйству и общественному строю племен Южного Урала. Уфа, 1981. С. 110–132.
6. Научный архив Уфимского научного центра Российской академии наук (НА УНЦ РАН). Ф. 3. Оп. 2. Д. 587. Л. 10–12.
7. Казаков Е.П. Памятники болгарского времени в восточных районах Татарии. М.: Наука, 1978. 132 с.
8. Кузеев Р.Г. Башкирские шежере // Кузеев Р.Г. Собрание научных трудов: в 7 т. Т. 2. Уфа: Китап, 2015. С. 29–312.
9. Башкирские родословные. Уфа: Китап, 2002. Вып. 1. 408 с.
10. Хусаинов Г. Из шежере племени Суун-Кыпсак // Башкирские шежере (Филологические исследования и публикации). Уфа: БФАН СССР, 1985. С. 74–76. (на башк. яз.).

References

1. Bashkir folklore. Vol. 1. Epics. Ufa, Bashkirskoe knizhnoe izdatelstvo, 1987. 544 p.
2. Bashkir folklore. T. 2. Traditions and legends. Ufa, Bashkirskoe knizhnoe izdatelstvo, 1987. 576 p.
3. Mazhitov N.A. South Ural kurgan graves of the 8th to 12th centuries. Moscow, Nauka, 1981. 164 p.
4. Ivanov V.A., Garustovich G.N., Pilipchuk Ya.V. Medieval nomads at the junction of Europe and Asia. Ufa, BGPU, 2014. 396 p.
5. Mazhitov N.A. On the nature of social relationships among the medieval population of the South Urals (Statement of the problem). Materialy po khozyaystvu i obshchestvennomu stroyu plemen Yuzhnogo Urala. Ufa, 1981, pp. 110–132.
6. Scientific Archive of the Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences. Fond 3, opis 2, delo 587, list 10–12.
7. Kazakov E.P. Archaeological sites of the Bulgarian time in eastern Tataria. Moscow, Nauka, 1978. 132 p.
8. Kuzeev R.G. Bashkir shezhere family records. R.G. Kuzeev's collected scholar works in 7 vols. Vol. 2. Ufa, Kitap, 2015, pp. 29–312.
9. Bashkir genealogy records. Ufa, Kitap, 2002. Issue 1. 408 p.
10. Khusainov G. From the shezhere family records of the Suun-Kypsak tribe. Bashkirskie shezhere (Filologicheskie issledovaniya i publikatsii). Ufa, BFAN SSSR, 1985, pp. 74–76. (In Bashkir).

MATRIARCHAL REMNANTS AMONG BASHKIRS IN THE 9th TO 16th CENTURIES

© Sh.N. Isyangulov

Institute of History, Language and Literature, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

In the 9th to 16th centuries patriarchal-patrimonial relations, with monogamous family and virilocal marriage, prevailed completely among Bashkirs. At the same time numerous remnants of matriarchy were evidently preserved. This problem still remains poorly studied in historiography. Attention was concentrated on identifying the remnants of patriarchal relations in the epic heritage of the Bashkir people dated back primarily to ancient times or, in the best case, to the early Medieval period (prior to the 10th century). Scholars have also studied the traces of matriarchy in the family rituals of the Bashkirs (secret premarital visits of the groom to the bride, wedding celebrated first in the bride's natal home, *return home* custom of the young wife, avoidance relationship between the son-in-law and the parents-in-law, traces of the avunculate, etc.). In general, the problem of the remnants of matriarchy among Bashkirs in the 9th to 16th centuries was not specially formulated and studied in historiography.

This article discusses such remnants of matriarchy among the Bashkir people of that period as the traces of uxori-local marriage, matrilineal descent pattern, inheritance of social status and some other issues.

In the 9th to 16th centuries, marriages in the Bashkir society were surely virilocal, although the remnants of uxori-local marriage were still preserved. Not infrequently, women participated in male sport games and military actions. There are legends about female warriors. Sometimes medieval burial grounds contain individual graves of armed women. Female graves like male burials are often accompanied by horse remains. The latter circumstance (horse remains found in the female graves) is indicative of the fact that women's social status was not lower compared to men. Perhaps armed women were involved in battles as part of light infantry, as is evidenced by saddles and other horse equipment. Some of the data bear witness to possible conservation of matrilinearity among Bashkirs at that time. This can be assumed from *double* burials of *women* and *babies*. Sometimes the succession of power and social status was implemented matrilineally. The Bashkir legends tell of women who were at the head of state formations and tribal structures. The reasons for a relatively high women's status lie in the existence of semi-nomadic cattle-breeding economy, slow spread of Islam and peculiarities of ethnogenesis and ethnic history of the Bashkirs in the period under investigation.

Key words: matriarchy, Bashkirs, uxori-local marriage, matrilinearity, women.

УДК 001(092) Ломоносов:027.21:061.62(470.57)

**ИЗДАНИЯ М.В. ЛОМОНОСОВА В РЕДКОМ ФОНДЕ  
НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ УНЦ РАН**

© Р.Ю. Сибгатова, Д.М. Галиуллина

Рассматриваются издания М.В. Ломоносова, хранящиеся в редком фонде Научной библиотеки УНЦ РАН. Особо ценными являются прижизненные издания «Рассуждение о твердости и жидкости тел ради торжественного праздника тезоименитства Ея Величества Всепресветлейшия Державнейшия Великия Государыни Императрицы Елисаветы Петровны Самодержицы Всероссийския в публичном собрании Императорской Академии Наук Сентября 6 дня 1760 года. Читанное господином коллежским советником и профессором, и Королевской Шведской академии наук членом Михаилом Ломоносовым» (СПб, 1760), «Первые основания металлургии, или рудных дел» (СПб, 1763). Описан также первый научно-популярный журнал «Ежемесячные сочинения, к пользе и увеселению служащие», издававшийся Российской академией наук по инициативе М.В. Ломоносова.

Ключевые слова: М.В. Ломоносов, российская наука, редкие издания, Научная библиотека УНЦ РАН.

В настоящее время в России наблюдается рост интереса к истории Отечества. Обращение к национальной истории продиктовано не только интересом к прошлому, но и поиском ориентиров на будущее. История неразрывно связана с выдающимися личностями, сыгравшими в ней свою роль. Такой личностью был М.В. Ломоносов, чья роль в создании российской науки была огромна. Он был продолжателем дела Петра Великого – первый русский универсальный ученый-энциклопедист, первый истинно русский историк, знаменитый поэт, литературовед, языковед, заложивший основы современного литературного языка, естествоиспытатель мирового значения, химик и физик, географ, металлург, геолог, художник, поборник развития отечественного просвещения и экономики. По проекту Петра I от 1724 года в Санкт-Петербурге была учреждена Академия наук и художеств – развитие науки было одним из условий создания независимой в экономическом и военном отношении России. М.В. Ломоносов стал инициатором создания первой химической лаборатории для научных и учебных целей при Академии наук, использованной в дальнейшем также для изучения природных богатств России. Он так-

же участвовал в основании Московского университета, составил для него проект и учебную программу.

Михаил Васильевич Ломоносов родился 19 (по старому стилю 8) ноября 1711 года в деревне Мишанинской, что неподалеку от города Холмогоры, в семье черносошного крестьянина, занимавшегося морским промыслом. Мать Михаила Ломоносова умерла, когда ему было девять лет, а новая жена отца мальчика не полюбила. Лучшими моментами в детстве М.В. Ломоносова стали его походы с отцом в море. Мальчик рано научился читать и писать, грамоте его обучил дьячок местной церкви.

Как известно, М.В. Ломоносов был автором более 30 книг по разным направлениям науки, а также художественных произведений и переводов. В фондах нашей библиотеки хранятся пять редких книг – два прижизненных издания и три книги, вышедшие уже после смерти автора. Первая из них – «Рассуждение о твердости и жидкости тел ради торжественного праздника тезоименитства ее величества всепресветлейшия державнейшия великия государыни императрицы Елисаветы Петровны самодержицы всероссийския в пуб-

СИБАГАТОВА Рамиля Юмадиловна – к.филол.н., Научная библиотека Уфимского научного центра РАН, e-mail: ramilya-sibagato@mail.ru

ГАЛИУЛЛИНА Диляра Мидхатовна, Научная библиотека Уфимского научного центра РАН, e-mail: dilyara.galiullina.russia@yandex.ru

личном собрании Императорской Академии наук сентября 6 дня 1760 года. Читанное господином коллежским советником и профессором, и Королевской Шведской академии наук членом Михаилом Ломоносовым. – В Санктпетербурге при Императорской Академии наук» [1760].

Фактически это текст доклада М.В. Ломоносова о результатах открытия, который в связи с важностью события канцелярией Академии было решено издать отдельными тиснениями. В Академической типографии было напечатано 428 экземпляров, из них 412 поступило в книжную лавку стоимостью 6 копеек за экземпляр. Из них 78 пошли на бесплатную раздачу [1, с. 227–228].

М.В. Ломоносов с первых страниц пишет: «Твердость и жидкость тель коль много отъ разности теплоты и стужи зависать, всемь довольно известно. Для того, когда ныне сообщник изысканий наших господинь Профессорь Браунъ о замороженной искусствомъ своимь ртути въ минувшую жестокую зиму ныне предложилъ описание и изъяснение своихъ опытовъ; за приличность признаваю представить и мои рассуждения о причинъ взаимнаго союза частицъ тела составляющихъ, для приобретения яснаго и общаго понятия о замерзании и растаивании тель чувствительныхъ...» [2, с. 3].

В 1759 году зимой профессору Иосифу Адаму Брауну впервые в Санкт-Петербурге удалось заморозить ртуть, до тех пор считавшуюся жидким телом, не способным затвердевать. После обсуждения ситуации ученые решили провести повторные опыты. 25 декабря 1759 года к опытам приступили академики М.В. Ломоносов, Ф.У.Т. Эпинус, И.Э. Цейгер и аптекарь И.Г. Модель. Каждый из ученых повторил приемы Брауна и получил те же результаты. Ртуть приобретала твердый вид и имела все свойства металла. Кроме того, здесь впервые был провозглашен общий принцип сохранения движения и вещества «...все перемены, в натуре случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимется, столько присовокупится к другому... Сколько часов положит кто на бдение, столько же сну отнимает. Сей всеобщей естественной закон простирается и в самые правила движения: ибо тело, движущее своею силою другое, столько же оныя у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает». Общий принцип сохранения

движения и вещества называют «законом Ломоносова». Этот закон является общей предпосылкой научного изучения природы и незыблемой аксиомой материалистической науки. В то время это было сенсацией в ученом мире. Канцелярией Академии это открытие было признано настолько важным, что о его результатах было решено доложить в публичном собрании Академии наук, посвященном торжественному празднованию тезоименитства императрицы Елизаветы Петровны. Докладывать поручено было главным действующим лицам открытия: И.А. Брауну на немецком и М.В. Ломоносову на русском языках. Назывались доклады: «Об удивительной стуже, искусством произведенной», «Рассуждение о твердости и жидкости тел».

Наш экземпляр с дефектом: утрачен лист с чертежом (по порядку 23-я страница), у некоторых страниц края оборваны, имеются водные пятна, но текст не пострадал, все страницы читаемы. Пометки о предыдущих владельцах нет.

Второе прижизненное издание ученого – краткое руководство к металлургии и горному делу «Первыя основания металлургии, или рудных дел», напечатанное в Санкт-Петербурге при Императорской Академии наук в 1763 году, является поистине научным трактатом в сфере горного дела. Книга была начата в 1740-е гг. в Германии, где М.В. Ломоносов обучался горному делу у преподавателя И.Ф. Генкеля. В нем М.В. Ломоносов описал и обобщил существовавшие в то время знания о металлах, о практике разведки металлосодержащих руд, их добыче и выплавке металлов, а также о естественной тяге воздуха в шахтах и о слоях земных. Книга состоит из пяти частей, части делятся на главы.

На 20-й странице, где говорится о ртути (глава вторая: о полуметаллах, с. 16–23), несмотря на то, что книга вышла в 1763 году, автор в описании ртути не успел поправить ее новые свойства, а вставил только примечание «Сие писано в 1742 году, после иначе оказалось». Получается, что в 1742 году большая часть книги была написана, и так как автор торопился ее издать, он в спешке просто не стал исправлять прежнее утверждение.

На титульной странице нет автора, он указан в конце посвящения «Всемилолюбивейшая Государыня!», которое датировано октябрём 11 дня 1763 года «Всепопданнейший и всеусерднейший рабъ Михайло

Ломоносов». Издание в объеме 416 страниц было издано тиражом 1225 экземпляров и разослано на крупнейшие горные заводы Алтая [3, с. 172] и рудники Урала. Среди ученых и промышленников книга быстро приобрела широкую популярность. Книга без иллюстраций. Переплет XVIII века, кожаный со слепым тиснением на корешке. Форзацы – мраморная бумага («павлиний хвост»), крупный, преимущественно в желтых и бордовых тонах).

«Первые основания металлургии, или рудных дел» М.В. Ломоносова представлены также во втором томе трехтомника «Сочинений Ломоносова», изданном в Санкт-Петербурге в 1847 году. Трехтомник был подготовлен известным русским издателем А.Ф. Смирдиным, грандиозным проектом которого стал выпуск массовой серии «Полное собрание сочинений русских авторов» (1846–1856); в ее рамках он выпустил свыше 70 томов небольшого формата произведений более 35 русских писателей, среди которых был и М.В. Ломоносов [4, с. 73]. В нашем экземпляре в оглавлении указаны только две части, хотя напечатан весь труд.

Во втором томе также напечатаны еще шесть его научных работ, посвященных химии, физике, метеорологии, геологии, морскому делу, астрономии: «Слово первое, о пользе химии» (первое выступление М.В. Ломоносова, посвященное популяризации науки в России. Полное заглавие этого труда Ломоносова таково: «Слово о пользе химии, в публичном собрании императорской Академии наук сентября 6 дня 1751 говорённое Михаилом Ломоносовым»); «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих», работа, написанная в 1753 году; «Слово третье о происхождении света, новая теория о цветах представляющее» – речь, произнесенная Ломоносовым на русском языке в публичном собрании Академии наук 1 июля 1756 года, впервые опубликованная на русском языке отдельной брошюрой в Санкт-Петербурге в 1757 году; «Слово четвертое, о рождении металлов от трясения земли»; «Рассуждение о большей точности морского пути»; «Явление Венеры на солнце, наблюдаемое в С.-Пб., Императорской Академией Наук мая 26 дня 1761 г.»).

Книга в переплете из картона и частично из кожи. Имеются потертости и изношенность переплета. Утерян лист с продолжением параграфа 185 (587-я стр.). Обе книги принадлежали Уфимскому

губернскому музею, потом библиотеке Башкирского научно-исследовательского института национальной культуры, о чем свидетельствуют штампы.

Широкой популярностью у современников Ломоносова пользовались его книги по истории России. В 1759 году Ломоносов составил «Краткий Российский летописец с родословием». Это была проникнутая патриотическим чувством, доступная широким слоям читателей краткая история России. Но подготовлен «Летописец...» был не специально как отдельное издание, а в процессе работы ученого над книгой, посвященной исследованию раннего периода истории России: «Древняя Российская история от начала российского народа до кончины великаго князя Ярослава Перваго или до 1054 года, сочиненная Михаилом Ломоносовым статским советником, профессором химии, и членом Санктпетербургской императорской и Королевской Шведской академии наук. СПб., 1766».

Эта научное издание, один из экземпляров которого хранится в редком фонде Научной библиотеки, является одним из первых опытов создания русской истории, освещения истории Киевской Руси. В нем использованы все известные на тот момент исторические сведения и материалы.

М.В. Ломоносов разработал историческую концепцию формирования государства Российского, он не изолировал отечественную историю от европейской, выявлял сходство и различия в исторической жизни разных народов. Он выдвинул славяно-чудское происхождения Древней Руси, что было принято и подтверждено позднейшей историографией.

М.В. Ломоносов выделял в русской истории периоды становления, роста, упадка и нового, более высокого подъема и делил в связи с этим историю на периоды [5, с. 195–196]:

– до Рюрика. Ему посвящена 1-я часть «Древней Российской истории...», в которой доказывается, что создателями Киевского государства являлись не скандинавские завоеватели, а местные, в основном славянские и отчасти угро-финские племена;

– от начала княжения Рюрика до смерти Ярослава Мудрого. Этому периоду посвящена 2-я часть «Древней Российской истории...»;

– от смерти Ярослава до нашествия Батая; – время татаро-монгольского владычества до княжения Ивана III.

К сожалению, «Древняя Российская история...» была доведена Ломоносовым только до 1054 года. Были написаны только первая и вторая части книги. Как пишется во вступлении «К читателю»: «Сочинитель, конечно, не преминул бы оной далее продолжить, ежели бы преждевременная его смерть, приключившаяся ему 4 Апреля 1765 году, добрага сего предприятия не пресекла: а между оставшимся после его письмами продолжения не найдено».

Особый интерес в свете теории славяно-чуждского происхождения Древней Руси представляет первая часть книги под названием «О России прежде Рурика», первая из десяти глав, который имеет название: О старобытныхъ въ России жителяхъ и о происхождении российского народа вообще [6, с. 3].

При жизни М.В. Ломоносова, в 1754–1758 гг., были напечатаны три листа книги, затем печатание было приостановлено самим автором, которого не удовлетворяла избранная им форма примечаний. В 1763 году набор книги был возобновлен, однако Ломоносов не успел сдать в печать окончание текста и примечания. После его смерти по решению Конференции Академии наук книга была издана тиражом 2425 экземпляров. Обращение «К читателю», открывающее книгу, было написано известным русским историком, академиком А.Л. Шлецером. Поскольку работа не была завершена, в основной части тиража последняя страница с указанием «Конец второй части» была заменена на страницу с указанием «Конец» [3, с. 167]. На последней странице нашего экземпляра указано «Конец второй части». По-видимому, этот экземпляр не из основной части тиража.

«Древняя российская история...» не является прижизненным изданием, но тем не менее оно очень ценно, т.к. является первым изданием, вышедшим вскоре после смерти автора. Книга хорошо сохранилась, без штампов предыдущих владельцев, без пометок, в современном переплете из картона, обклеенного бумагой. Количество страниц – 140.

До революции наиболее полно можно было ознакомиться с научными трудами и литературным творчеством М.В. Ломоносова в изданиях собраний сочинений. Сочинения Ломоносова на протяжении двух столетий до 1917 года издавались шесть раз.

В редком фонде имеется первая часть трехтомника Собраний сочинений в стихах и прозе

М.В. Ломоносова (издание 6-е, 1803 г.) [7]. В начале первого тома помещено жизнеописание Ломоносова, перепечатанное из «Опыта исторического словаря о российских писателях» Новикова с добавлением стихотворения Хераскова «Великий Ломоносов».

В первую часть помещены статья М.В. Ломоносова о трех литературных стилях «Предисловие сочинителево о пользе книг церковных»; работа о правилах стихосложения «Письмо о правилах российского стихотворства» (1739), духовные оды Ломоносова (стихотворные переложения библейских текстов с лирическим содержанием) и похвальные оды, написанные в связи со значительными событиями по заказу правительства, чтение которых составляло часть праздничного церемониала. В каждой из них поэт развивал свои идеи и планы, связанные с судьбами русского государства.

Здесь напечатана похвальная ода «Оды на день восшествия на престол Елизаветы Петровны, 1747 года», которая считается лучшей из похвальных од М.В. Ломоносова.

М.В. Ломоносов восхваляет «великую Петрову дочь» за ее покровительство наукам и образ Императрицы представляется идеальным. В оде видно желание автора, чтобы Елизавета продолжала дело своего великого отца. Оды Ломоносова проникнуты любовью к Родине, к ее необъятным просторам, к родной природе, верой в человеческий разум, в будущее страны и ее народа. Поэт надеется, что Российская земля будет рождать своих ученых:

О вы, которых ожидает  
Отечество от недр своих  
И видеть таковых желает,  
Каких зовет от стран чужих,  
О, ваши дни благословенны!  
Дерзайте ныне ободренны  
Раченьем вашим показать,  
Что может собственных Платонов  
И быстрых разумом Невтонов  
Российская земля рождать.

Книга в переплете из картона и частично из кожи. Имеются потертости и изношенность переплета. На них пометки с фамилиями в дореформенном алфавите, с датами первой половины XIX века. Имеются штампы библиотек Уфимской духовной академии и Башкирского научно-исследовательского института национальной культуры.

Рассказывая о произведениях М.В. Ломоносова в фонде редких книг НБ УНЦ РАН, нельзя не упомянуть о трех его стихотворениях: «Г.Г. Орлову на благополучное возвращение из Лифляндии», «На Сарское село» (№ 9. 1764 г. с. 239), «Письмо к г. В...» (№ 1, 1756 г. С. 70–71), приписываемое ему П.Н. Берковым и о реферате с кратким содержанием «Первых оснований металлургии» М.В. Ломоносова (№ 11. 1763 г.), напечатанных в одном из первых в России научно-литературных журналов, выпускавшихся Российской академией наук, «Ежемесячных сочинениях к пользе и увеселению служащая» [3, с. 130–132]. Этот журнал был детищем М.В. Ломоносова. В письме от 3 января 1754 года покровителю наук и меценату И.И. Шувалову Ломоносов высказал идею о создании нового журнала, используя европейский опыт издания периодических сочинений, выбрав лучший пример [8, с. 77–78]. Объем его был установлен в шесть листов, т.е. 96 страниц в месяц, нумерация страниц в пределах полугодия была сквозной, чтобы затем их можно было компоновать для библиотек в полугодовые тома (две части в год). По проекту Ломоносова был создан титульный лист журнала. Обложка первого номера выглядела так: наверху – название, ниже месяц и год, потом – эмблема: виньетка с изображением двуглавого орла с распростертыми крыльями, держащего в лапах лавровую гирлянду; в верхней половине гирлянды помещено солнце, освещающее находящуюся внизу европейскую часть северного полушария, точнее, Россию (на полушарии – только две надписи – Россия и С.-Петербург). В лучах солнца – девиз журнала, некое кредо: «Для всех». Внизу подпись – «в Санкт-Петербурге, в Академии наук». Журнал издавался с 1755 по 1764 год.

Время издания приходится на царствование Елизаветы Петровны, и лишь последние три года – на царствование Екатерины II. В библиотеке имеются журналы, изданные в 1756–1764 гг. (за 1756, 1957, 1761, 1763 гг. – №№ 1–12; за 1758, 1760, 1762, 1764 гг. – №№ 7–12). Журнал по своему содержанию был научно-литературный, но в то же время имел просветительский характер.

Статьи по содержанию делятся на условные разделы: философско-литературный, географо-экономико-исторический, натуральная история. В разделе философско-литературном печатались литературные произведения и статьи по теории

литературы. Они не были свободны от философских рассуждений, порой даже философия выходила на первый план. В географо-экономико-историческом разделе публиковались труды монографического характера, посвященные изучению России (природы, полезных ископаемых, этнографии народов и др.). Здесь печатались обзоры путешествий и географических открытий, которые по своему содержанию могут быть отнесены как к отделу географии, так и к отделу истории. В журнале впервые был поставлен вопрос о необходимости регионального изучения страны, значительнейший вклад в которое внес один из самых активных авторов «Ежемесячных сочинений» П.И. Рычков. Для исследователей местного края интересна его работа «Топография или описание Оренбургской губернии», опубликованная в журнале в 1762 году с 7 по 11 (страницы: 2–60, 99–139, 195–250, 292–327, 387–435). Печатались также многочисленные оригинальные и переводные статьи по экономике и торговле. В разделе «Натуральная история» печатались переводы из труда французского ученого Жоржа Луи Леклерка де Бюффона «Естественная история, всеобщая и частная».

Бессменным редактором «Ежемесячных сочинений» был знаменитый ученый-историограф Герард Фридрих Миллер. Собственно из-за него, идейного противника М.В. Ломоносова, ученый, фактически создавший научно-популярный журнал, почти не печатался в нем. Еще в 1749 году Ломоносов выступил с критикой речи Миллера «Происхождение народа и имени российского», резко возразив против «норманнской теории» происхождения русского государства, которую развивал Миллер. Ломоносов, например, писал, что Миллер «больше всего высматривает пятна на одежде российского тела, проходя многие истинные ее украшения» [8, с. 88–89]. Ломоносов отстранился от ведения журнала и позволял себе вмешиваться только в тех случаях, когда он видел опасность унижения русского национального достоинства [9, с. 33].

В целом журнал сыграл свою роль в развитии публицистики, обогащении и совершенствовании русского литературного языка, вывел русскую литературу из рамок литературных кружков на широкую публику, дал своему читателю достаточно разносторонний материал по многим отраслям общественной жизни, науки, искусства.

Все эти книги и журнал «Ежемесячные сочинения» являются редкими, ценными изданиями и объектами культурного наследия России. Они представляют собой богатейший материал для изучения истории российской науки и культуры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тюличев Д.В. Книгоиздательская деятельность Петербургской академии наук и М.В.Ломоносов. Л., 1988. 280 с.
2. Ломоносов М. Рассуждение о твердости и жидкости тель... СПб., 1760. 21 с.
3. Сводный каталог русской книги гражданской печати XVIII века. 1725–1800. Т. II: К-П. М., 1964. 515 с.
4. Кишкин Л.С. «Честный, добрый, простодушный...». Труды и дни Александра Филипповича Смирдина. М., 1995. 142 с.
5. Черепнин Л.В. Русская историография до XIX века: курс лекций. М.: Изд-во МГУ, 1957. 305 с.
6. Ломоносов М.В. Древняя Российская история от начала Российского народа до кончины великого князя Ярослава Перваго или до 1054 года. СПб., 1766. 140 с.
7. Ломоносов М.В. Собрание сочинений в стихах и прозе. Изд. новое исправленное, с присовокуплением обстоятельного описания сочинительной жизни, взятых из Московского и Академического издания. В 3-х ч. Ч.1. 1803. 308 с.
8. Берков П.Н. История журналистики XVIII века. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. 572 с.
9. Западов А.В. Русская журналистика XVIII века. М., 1964. 224 с.

### References

1. Tyulichev D.V. Publishing activities of the St. Petersburg Academy of Sciences and M.V. Lomonosov. Leningrad, 1988. 280 p.
2. Lomonosov M. Reasoning on hardness and liquid of bodies... St. Petersburg, 1760. 21 p.
3. Russian book summary catalogue of the civil press in the 18th century. 1725-1800. Vol. 2: K-P. Moscow, 1964. 515 p.
4. Kishkin L.S. "Honest, kind, ingenuous ...". Works and days of Aleksandr Filippovich Smiridin. Moscow, 1995. 142 p.
5. Cherepnin L.V. Russian historiography until the 19th century. Kurs lektsiy. Moscow, Izdatelstvo MGU, 1957. 305 p.
6. Lomonosov M.V. Ancient Russian history from the beginning of the Russian people until the death of the grand duke Yaroslav I or until 1054]. St. Petersburg, 1766. 140 p.
7. Lomonosov M.V. Collected works in verses and prose. Izdanie novoe ispravlennoe, s prisovokupleniem obstayatel'nogo opisaniya sochinitel'noy zhizni, vzyatykh iz Moskovskogo i Akademicheskogo izdaniya. In 3 parts. Part 1. 1803. 308 p.
8. Berkov P.N. History of journalism of the 18th century. Moscow, Leningrad, Izdatelstvo Akademii nauk SSSR, 1952. 572 p.
9. Zapadov A.V. Russian journalism of the 18th century. Moscow, 1964. 224 p.

—●—

## EDITIONS OF MIKHAIL LOMONOSOV'S WORKS IN THE RARE BOOKS DEPARTMENT OF THE SCIENCE LIBRARY, UFA SCIENTIFIC CENTRE, RAS

© R.Yu. Sibagatova, D.M.Galiullina

Scientific library of the Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

The article deals with the editions of Mikhail V. Lomonosov's works collected in the Rare Books Department of the Science Library of the Ufa Scientific Centre. The most valuable books are lifetime editions of "Reasoning about the Solidness and Liquidness of Bodies on the Occasion of the Ceremonial Birthday Celebration of Her Majesty Elisaveta Petrovna, the Most Serene Supreme Great Sovereign Empress and Autocratess of All Russia, in the Public Meeting of the Imperial Academy of Sciences on the Sixth Day of September, Year 1760. Being read by Collegiate Councilor and Professor, and Fellow of the Royal Swedish Academy of Sciences Mikhail Lomonosov" (St. Petersburg, 1760) and «The Very First Fundamentals of Metallurgy, or Mining Crafts" (St. Petersburg, 1763). It also describes the first popular science magazine "Monthly Essays for Use and Amusement" (1754–1765) published by the Russian Academy of Sciences at Lomonosov's initiative.

Key words: Mikhail Lomonosov, rare book editions, Science Library of the Ufa Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences.