

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 2 (2)

2013

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОЛОГИЯ

- Мазей Ю. А., Ембулаева Е. А., Трулова А. С.* Раковинные амёбы в почвах лесостепных биогеоценозов (по материалам заповедника «Приволжская лесостепь»)..... 5
- Ручин А. Б., Егоров Л. В., Алексеев С. К.* Аннотированный список жуков-мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) Мордовии..... 27
- Рыжаков В. В., Рыжаков М. В.* Теория и алгоритм диагностирования биологических систем с бесконечным числом состояний на основе использования соответствующих  $Q$ -матриц и матриц вероятностей переходов ..... 41
- Каташов Д. А., Хрянин В. Н.* Влияние фитогормонов и селената натрия на митотическую активность апикальных меристем корней проростков рапса (*Brassica napus*)..... 49
- Кулакова Д. А.* Экологические особенности произрастания *Corydalis marschalliana* Pers. в Пензенской области ..... 55
- Магеррамов С. Г. оглы* Антигельминтные действия растений и их смеси с химическим препаратом ..... 64
- Годин В. Н.* Половой полиморфизм растений подклассов Magnoliidae и Ranunculidae в Сибири. Обзор литературы..... 69

### ХИМИЯ

- Костюков С. В.* Исследование влияния примесей празеодима, тулия и гольмия на люминесценцию твердых растворов  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$  ..... 77
- Муковоз П. П., Козьминых В. О.* Синтез, строение и свойства эфиров 3,4-диоксо-1,6-гександиовой (кетипиновой) кислоты ..... 88
- Перельгин Ю. П., Киреев С. Ю., Ягниченко Н. В.* Электрохимическое осаждение цинка из электролита, содержащего молочную кислоту..... 102

## ГЕОГРАФИЯ

---

<i>Артемова С. Н.</i> Геоэкологические исследования для целей ландшафтного планирования Пензенской области.....	110
<i>Кликунов А. А.</i> О верхних плато Приволжской возвышенности на территории Пензенской области .....	120
<i>Соколов А. С., Хлебни Р. Ф.</i> Формирование экологических проблем и ситуаций в городе Гомеле и их отражение на комплексной геоэкологической карте.....	125

UNIVERSITY PROCEEDINGS  
VOLGA REGION

NATURAL SCIENCES

№ 2 (2)

2013

CONTENTS

BIOLOGY

- Mazei Yu. A., Embulaeva E. A., Trulova A. S.* Terricolous testate amoebae in forest-steppe ecosystems (on the data of natural reserve «Volga region forest-steppe») ..... 5
- Ruchin A. B., Egorov L. V., Alekseev S. K.* The annotated list of carrion beetles (Coleoptera, Silphidae) in Mordovia ..... 27
- Ryzhakov V. V., Ryzhakov M. V.* The theory and algorithm for diagnosis of biological systems with an infinite number of states on the basis of applicable  $Q$ -matrices and transition probability matrices ..... 41
- Katashov D. A., Khryanin V. N.* The Influence of phytohormones and sodium selenate on the mitotic activity of apical meristems of rape germinant roots (*Brassica napus*) ..... 49
- Kulakova D. A.* The ecological peculiarities of *Corydalis marschalliana* Pers. growth in Penza region ..... 55
- Maharramov S. G. ogly* Anthelmintic effect of plants and their mixtures with chemical agent ..... 64
- Godin V. N.* The plant sexual polymorphism in the Subclass Magnoliidae and Ranunculidae in Siberia. The survey of literature on the subject ..... 69

CHEMISTRY

- Kostyukov S. V.* The study of the influence of praseodymium, thulium and holmium impurities on the luminescence of solid solutions  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$  ..... 77
- Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O.* The synthesis, structure and properties of 3,4-dioxo-1,6-hexanedioate (ketipic) acid esters ..... 88
- Perelygin Yu. P., Kireev S. Yu., Yagnichenko N. V.* The electrochemical deposition of zinc from an electrolyte containing lactic acid ..... 102

## GEOGRAPHY

---

<i>Artemova S. N.</i> Geoecological investigation for landscape planning in Penza region.....	110
<i>Klikunov A. A.</i> On the upper plateau of the Volga Highlands in Penza region .....	120
<i>Sokolov A. S., Khlebin R. F.</i> The formation of environmental problems and situations in the city of Gomel and their reflection on the complex geoecological map .....	125

УДК 593.11

Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева, А. С. Трулова

## РАКОВИННЫЕ АМЕБЫ В ПОЧВАХ ЛЕСОСТЕПНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЗАПОВЕДНИКА «ПРИВОЛЖСКАЯ ЛЕСОСТЕПЬ»)<sup>1</sup>

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Биоценозы на границе леса и степи формируются по-разному. Мы проанализировали закономерности изменения состава и структуры сообществ почвообитающих раковинных амёб на двух участках, включающих все стадии перехода от степей к лесам в двух основных вариантах. *Материалы и методы.* В Островцовской лесостепи рассматривали экотонный ряд перехода ксерофитных степных фитоценозов через ксеромезофитные луга и опушечные (кустарниковые) фитоценозы к мезофитным низкорослым и высокорослым лесам. В Кунчеровской лесостепи исследовали экотонный ряд перехода от ксерофитных псаммофильных степей через ксеромезофитные луговые степи и остепненные порослевые дубравы, мезофитные дубравы и осинники к гигрофитным ивнякам. *Результаты.* В Островцовской лесостепи сообщество корненожек разделяется на три варианта, формирующиеся в наиболее контрастных фитоценозах – ковыльных степях (доминанты *Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Euglypha strigosa*), осинниках (*Centropyxis aerophila*, *Trinema lineare*, *Phryganella hemisphaerica*), а также в экотонных опушечных (кустарниковых) фитоценозах (*Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Plagiopyxis penardi*). В Кунчеровской лесостепи сообщество раковинных амёб также разделяется на три варианта, соответствующие псаммофильной степи (доминанты *Phryganella acropodia*, *Euglypha tuberculata*, *Trinema lineare*), луговой степи (*Centropyxis sylvatica globulosa*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Trinema complanatum*) и лесным фитоценозам (*Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*). *Выводы.* Картина дифференциации сообщества почвообитающих раковинных амёб вдоль лесостепного градиента имеет свою специфику в соответствии с характером растительности. В Кунчеровской лесостепи при отсутствии ярко выраженного экотонного фитоценоза (представленного остепненными дубравами) отсутствует и экотонная группировка раковинных амёб. В Островцовской лесостепи при хорошо сформированных экотонных кустарниковых фитоценозах формировалось специфическое сообщество раковинных корненожек.

**Ключевые слова:** раковинные амёбы, структура сообщества, лесостепь.

Yu. A. Mazei, E. A. Embulaeva, A. S. Trulova

## TERRICOLOUS TESTATE AMOEBAE IN FOREST-STEPPE ECOSYSTEMS (ON THE DATA OF NATURAL RESERVE «VOLGA REGION FOREST-STEPPE»)<sup>1</sup>

**Abstract.** *Background.* Biocenoses on the border of forests and steppes are formed differently. We have analyzed the patterns of changes in the composition and com-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (12-04-33118-мол\_а\_вед).

munity structure of terricolous testate amoebae in two territories, including all the stages of transition from steppes to forests in two basic versions. *Materials and methods.* We have studied the transition ecotone line from xerophytic steppe phytocenoses through xeromesophytic meadows and margin (shrub) phytocenoses to mesophytic stunted and tall forests in Ostrovtsovskaya forest-steppe. In Kuncherovskaya steppe we have investigated the transition ecotone line of xerophytic psammophilous steppes through xeromesophytic meadow steppes and steppe coppice oak forests, mesophytic oak and aspen forests to hygrophite osier bed. *Results.* In Ostrovtsovskaya forest-steppe the rhizopod community is divided into three variants which are formed in the most contrasting phytocenoses – feather grass steppes (*Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Euglypha strigosa* as dominants), aspen forests (*Centropyxis aerophila*, *Trinema lineare*, *Phryganella hemisphaerica*), and in the ecotone margin (shrub) phytocenoses (*Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Plagiopyxis penardi*). In Kuncherovskoy forest-steppe testate amoebae community is also divided into three variants corresponding to psammophilous steppe (*Phryganella acropodia*, *Euglypha tuberculata*, *Trinema lineare* as dominants), meadow steppe (*Centropyxis sylvatica globulosa*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Trinema complanatum*) and forest phytocenoses (*Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*). *Conclusions.* The differentiation pattern of terricolous testate amoeba communities along the forest-steppe gradient is specific in accordance with the nature of the vegetation. In Kuncherovskaya forest-steppe in the absence of a clearly defined ecotone phytocenosis (represented by steppe oak forests) the ecotone group of testate amoebae is also missing. In the Ostrovtsovskaya forest-steppe with well-formed ecotone shrub phytocenoses a specific community of shell rhizopods has been formed.

**Key words:** testate amoebae, community structure, forest-steppe.

Лесостепь представляет собой сочетание лесных и степных массивов, непосредственно примыкающих друг к другу. Здесь можно наблюдать естественные переходы между степными и лесными биогеоценозами и легко рассматривать соответствующие изменения в составе и структуре почвенной фауны. Переход от травянистых фитоценозов к древесным может осуществляться по-разному, например, через кустарниковые опушки, которые обычно выделяют в особый тип фитоценоза и считают непременным элементом ландшафта лесостепи [1]. Другой вариант границы между травяными и древесными экосистемами представляют собой остепненные леса [2]. По мнению И. И. Спрыгина [3], распределение растительных сообществ в лесостепи обусловлено не климатическими, а почвенно-грунтовыми условиями и особенностями рельефа: лесные сообщества приурочены к грубозернистым древним почвам, а степи развиваются на мелкозернистых моренных отложениях. В автоморфных условиях в Среднем Поволжье преобладают два почвенных типа: серые лесные почвы и лесостепные черноземы [4].

Раковинные амебы являются постоянным компонентом почвенной наофауны [5]. Изучение этих организмов в Европейской России касалось преимущественно населения лесных биоценозов в таежной зоне [6–10]. Исследования сообществ тестацид в почвах более южных регионов, в частности в лесостепной зоне, начаты относительно недавно [2, 7, 11–18]. Задачей настоящей работы явился анализ закономерностей изменения состава и структуры сообщества почвообитающих раковинных амеб на двух небольших эталонных для лесостепной зоны территориях, включающих все стадии перехода от степей к лесам в двух основных вариантах: на примере Островцовской и Кунчеровской лесостепей.

### Материал и методика

На пробных участках были заложены почвенные разрезы для отбора образцов на протозоологический анализ. Образцы отбирались только из горизонта  $A_0$  и верхней двухсантиметровой зоны следующего за ним горизонта. На каждом участке были отобраны по три повторности, каждая из которых рассматривалась в отдельности, что позволило оценить микропространственную гетерогенность сообщества на внешне однородном участке.

Для выявления видового состава и количественного учета раковинных амёб применяли общепринятую методику [19]. В каждой пробе определяли видовой состав раковинных амёб и просчитывали количество живых тестаей и пустых раковин в двукратной повторности [20]. В каждой пробе было подсчитано не менее 100 экземпляров. Полученные величины численности раковинок пересчитывали на 1 г абсолютно сухого субстрата.

Для классификации сообществ использовали иерархический кластерный анализ методом среднего присоединения на основе матрицы индексов сходства Чекановского – Сьеренсена для данных по относительному обилию видов. Для выявления характера различий между локальными сообществами проводили ординацию ценозов методом главных компонент. Пространственную гетерогенность сообществ оценивали с помощью усредненных для всех пар проб индексов сходства Пианки. Достоверность различий между обилием раковинок в разных биотопах рассчитывалась с использованием критерия Манна – Уитни с поправкой Бонферрони для множественных сравнений. Все расчеты вели с помощью пакета программ PAST 2.17.

### Результаты и обсуждение

#### Градиент «степь – кустарниковая опушка – лес»

Исследование проводили на территории Островцовской лесостепи в июле 2006 г., включающей все этапы перехода от ксерофитных степей через ксеромезофитные луга и опушечные кустарниковые комплексы (раkitники, вишарники) к мезофитным низкорослым (жестеро-терновники, черемушники) и высокорослым (осинники) лесам.

Изучение населения почвенных раковинных амёб и гетеротрофных жгутиконосцев на территории заповедника осуществлялось на девяти площадках (их условные обозначения приведены в квадратных скобках), включающих разнотипные растительные ассоциации лесостепного экотона, представляющие собой различные состояния залесения степи.

Три площадки расположены на участке луговых степей (ассоциация разнотравно-перистоковыльная) с преобладанием ковыля [луг.степь1], клевера [луг.степь2] и раkitника [раkitник]. Разнотравно-перистоковыльная ассоциация расположена на плоском водораздельном пространстве. При общем проективном покрытии 61 % на степные элементы здесь приходятся 74 %, в основном представлены мезоксерофитами (64 %). В травостое хорошо выражены злаки (60 %), среди которых преобладают ковыль перистый (от 10 до 30 %), а также ковыль узколистный и типчак, обилие которых не превышает 10 %. Среди разнотравья выделяются земляника зеленая, подмаренник настоящий, чабрец Маршалла и горичник эльзасский, различные виды клевера. Изредка попадаются участки с кустарниками раkitника русского. Почва –

чернозем типичный среднесуглинистый среднесуглинистый. Пробы отбирали из горизонтов  $A_0$  0–3 см (степной войлок) и  $A_1$  3–5 см (верхняя часть перегнойно-аккумулятивного горизонта).

Одна площадка находилась на расширенном дне Безымянного оврага. Здесь формируется разнотравно-дерновинно-щучковая растительная ассоциация болотистых лугов [бол.луг]. Она характеризуется высоким проективным покрытием (82 %), причем луговые виды составляют 98 % от общего проективного покрытия и представлены преимущественно гигрофитами (68 %). Доминируют злаки (66 %) благодаря щучке дернистой, абсолютное проективное покрытие которой достигает 40–50 %. Довольно обильными в этой ассоциации являются тимopheевка луговая и пырей ползучий. Среди разнотравья выделяются гравилат речной, чистяк весенний, щавель кислый, различные виды хвощей. Почва – черноземно-луговая среднесуглинистая среднесуглинистая. Пробы отбирали из горизонтов  $A_0$  0–2 см (луговой войлок) и  $A_1$  2–4 см (верхняя часть перегнойно-аккумулятивного горизонта с признаками оглеения).

По одной площадке было заложено на условной трансекте в центральной части заповедника, включающей переход от остепненного разнотравного луга в наземнейниковой разнотравной ассоциации [ост.луг], через вишарник редкотравный [вишарник], жестеро-терновник редкотравный [терновник], черемушник редкотравный [черемушник] к осиннику крапивно-разнотравному [осинник].

В наземнейниковой разнотравной ассоциации травостой имеет высокое проективное покрытие (69 %), причем в нем явно преобладают луговые виды (79 %), главным образом из группы ксеромезофитов (65 %). Здесь господствуют злаки (60 %), а среди них доминирует вейник наземный (от 20 до 50 %). Группа разнотравья составляет 36 %, в которой более или менее заметно участие земляники зеленой, лабазника обыкновенного, подмаренника настоящего и кровохлебки лекарственной. Ассоциация практически отражает последнюю стадию развития травяной растительности на полянах, перед их полным поглощением лесокустарниковым комплексом. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднесуглинистый. Пробы отбирали из горизонтов  $A_0$  0–1 см (степной войлок) и  $A_1$  1–3 см (верхняя часть перегнойно-аккумулятивного горизонта).

В вишарнике редкотравном – ярус кустарников средней сомкнутости, с абсолютным доминированием вишни. Травяной ярус сильно разрежен, преобладает вейник наземный. Значительна роль костреца безостого и клубники. Явно доминируют виды сухолесолуговой свиты, однако значительна роль степных видов. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднесуглинистый. Пробы отбирали из горизонтов  $A_0$  0–2 см (степной войлок) и  $A_1$  2–4 см (верхняя часть перегнойно-аккумулятивного горизонта).

В жестеро-терновнике редкотравном сомкнутость кустарникового яруса довольно высока. Состав его смешанный, с преобладанием терна и жестера. Заметна также роль бересклета бородавчатого и крушины ломкой. Сомкнутость травяного яруса крайне мала. Велика роль хмеля вьющегося. Заметно присутствие чистотела большого и сныти обыкновенной. Абсолютно преобладают лесолуговые виды. Почва – чернозем слабоподзоленный среднесуглинистый среднесуглинистый. Пробы отбирали из горизонтов

A<sub>0</sub> 0–1,5 см (листовой опад) и A<sub>1</sub> 1,5–3,5 см (верхняя часть перегнойно-аккумулятивного горизонта).

В черемушнике редкотравном довольно плотный древесный ярус образован черемухой с единичными деревьями клена татарского. Кустарниковый ярус выражен очень слабо. Преобладают жестер и бересклет. Травяной ярус слабо сомкнут. Доминируют чистотел большой и сныть обыкновенная. Заметна роль крапивы двудомной. Преобладают виды сухолесолуговой свиты, велика также доля свежее- и влажнолуговых видов. Преобладают виды, требовательные к богатству почвы. Почва – чернозем слабоподзоленный среднемощный среднегумусный среднесуглинистый. Пробы отбирали из горизонтов A<sub>0</sub> 0–1 см (листовой опад и эпигейные мхи) и A<sub>1</sub> 1–3 см (верхняя часть перегнойно-аккумулятивного горизонта с признаками оглеения).

В осиннике крапивно-разнотравном древостой плотный, состоит из осины с единичными деревьями березы пушистой. Подлесок редкий, преобладают черемуха и бересклет бородавчатый. Значительно участие малины, терна и жимолости татарской. Травостой средней сомкнутости, преобладают крапива двудомная, сныть, чистотел большой, перловник высокий, гравилат городской и ландыш майский. Преобладают свежее- и влажнолесолуговые виды с довольно высокими требованиями к богатству почвы. Почва – дерново-глеявая маломощная среднегумусная среднесуглинистая. Пробы отбирали из горизонтов A<sub>0</sub> 0–0,5 см (листовой опад) и A<sub>1</sub> 0,5–2,5 см (верхняя часть перегнойно-аккумулятивного горизонта с признаками оглеения).

В обследованных почвах обнаружено 32 вида и формы раковинных амёб (табл. 1). Наиболее обычным видом (встречался во всех биотопах) оказался *Centropyxis sylvatica*. Этот же вид входил в состав доминирующего комплекса практически во всех локальных сообществах. Более чем в 80 % биотопов были обнаружены *Cyclopyxis kahli*, *Trinema complanatum*, *Centropyxis aerophila*. Преобладают представители четырех семейств – Centropyxidae, Cyclopyxidae, Euglyphidae, Trinematidae. Вместе они составляют 75 % всего видового разнообразия. Эти семейства отмечаются как наиболее характерные представители в почвах [5]. *C. sylvatica* и *C. kahli* – эврибионтные виды, встречающиеся в водных, моховых и почвенных биотопах, *T. complanatum* и *C. aerophila* – почвенно-моховые обитатели [21, 22].

По видовой структуре локальные сообщества достаточно сильно различаются (рис. 1). Наиболее специфичны сообщества, формирующиеся в почвах под кустарниковыми фитоценозами: [ракитник], где доминируют *Plagiopyxis penardi*, *Centropyxis sylvatica globulosa* и *Euglypha strigosa glabra*, [вишарник], где супердоминирует один вид *Centropyxis aerophila sphagnicola*. Во всех остальных биотопах в числе доминантов *Centropyxis sylvatica*, к которому добавляются *Cyclopyxis kahli* на луговых степях, *C. a. sphagnicola* на остепненных и болотистых лугах, *Centropyxis aerophila*, *Phryganella acropodia* и *Phryganella hemisphaerica* в лесных фитоценозах (терновнике, черемушнике и осиннике). Следует отметить, что все виды, входящие в состав доминирующей группировки, являются структурообразующими в нескольких биотопах, что в результате обуславливает схожесть локальных ценозов корненожек. С другой стороны, набор доминантов в каждом случае оказывается иным. Таким образом, разнообразие вариантов локальных сообществ формируется за счет перекомбинации небольшого числа доминантов.

Видовой состав и относительные обилия доминирующих (более 10 % от общей численности) видов в сообществе

Таксон	Биотоп								
	луг. степь1	луг. степь2	ост. луг	бол. луг	раkitник	вишарник	терновник	черемушник	осинник
<i>Arcella arenaria</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Arcella hemisphaerica angulata</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Centropyxis aerophila</i>	+	-	13,7	17,8	-	+	+	12,1	18,4
<i>Centropyxis aerophila sphagnicola</i>	-	10,3	17,7	9,9	-	61,4	13,7	+	-
<i>Centropyxis cassis</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Centropyxis plagiostoma</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Centropyxis platystoma</i>	-	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>Centropyxis sylvatica</i>	26,8	17,7	13,0	9,9	+	+	19,8	+	16,0
<i>Centropyxis sylvatica globulosa</i>	4,7	20,6	-	-	20,7	+	+	12,9	+
<i>Corythion dubium terricola</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Cyclopyxis kahli</i>	14,6	28,4	10,8	+	-	+	+	17,8	+
<i>Cyclopyxis ambigua</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	+
<i>Euglypha compressa</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Euglypha denticulata</i>	-	-	-	-	+	+	+	-	+
<i>Euglypha rotundata</i>	-	-	10,1	-	-	-	-	-	-
<i>Euglypha strigosa</i>	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euglypha strigosa glabra</i>	10,0	-	+	-	18,9	+	-	-	-
<i>Heleopera sylvatica</i>	-	-	+	+	-	+	-	+	-
<i>Phryganella acropodia</i>	-	-	+	+	+	+	16,4	13,6	+
<i>Phryganella hemisphaerica</i>	+	+	-	-	-	+	14,8	+	20,1
<i>Plagiopyxis declivis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Plagiopyxis intermedia</i>	+	+	-	-	+	-	-	-	-
<i>Plagiopyxis penardi</i>	+	-	-	12,7	21,3	+	-	-	-
<i>Tracheleuglypha dentata</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Trigonopyxis arcula</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Trinema complanatum</i>	+	10,3	13,2	+	-	+	+	+	+
<i>Trinema complanatum globulosa</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trinema complanatum platystoma</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Trinema enchelys</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Trinema lineare</i>	+	-	+	15,9	+	+	-	+	13,5
<i>Trinema lineare terricola</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Trinema penardi</i>	-	-	+	+	+	-	+	+	-

Интересно, что среди доминантов только один вид – *C. s. globulosa* – можно рассматривать в качестве геобионта. Остальные – в той или иной степени эврибионты, встречаются как в почвах, так в моховых и водных биотопах [21, 22]. Причем все эти виды достаточно часто оказываются доминантами в почвах с различным типом гумуса и в разнотипных биотопах: мор и мор-модер в хвойных лесах, мор в сосновых лесах, мулль в широколиственных лесах и степях [7].

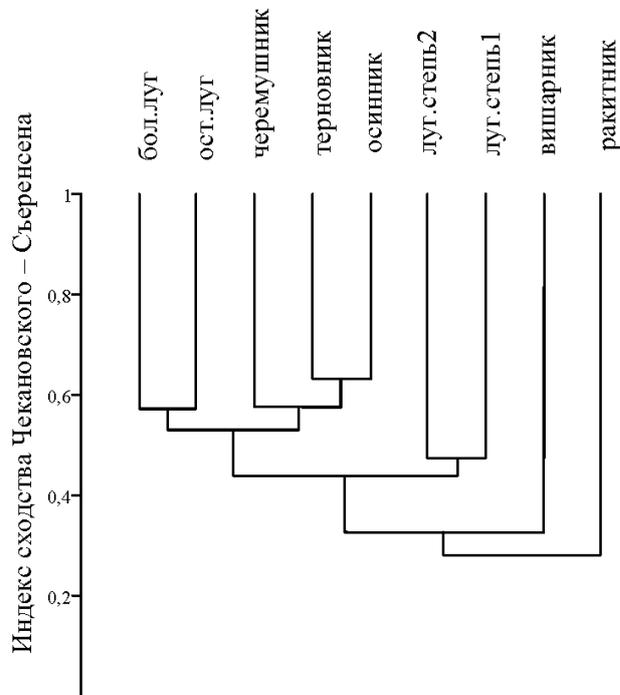
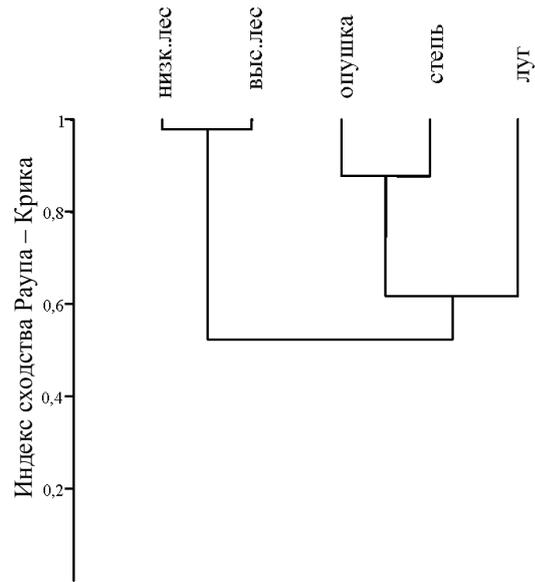
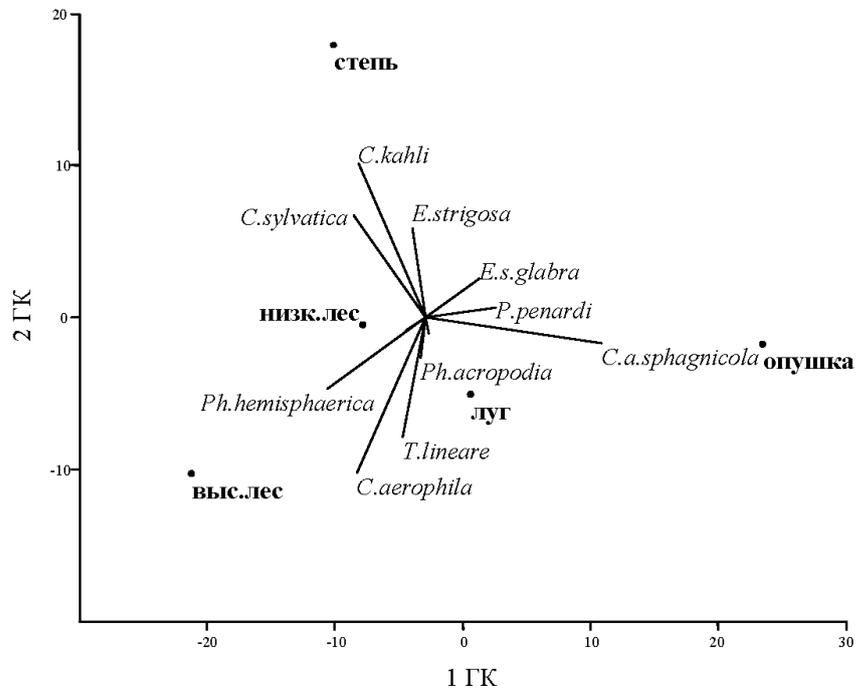


Рис. 1. Результаты классификации локальных сообществ раковинных амёб из разных биотопов по видовой структуре

В изменениях видового состава и структуры сообщества прослеживаются направленные изменения, связанные с переходом от ксерофильных и мезоксерофильных травяных и кустарниковых фитоценозов к мезофильным лесным. По видовому составу (рис. 2,а) население разделилось на две группы: из лесных фитоценозов, с одной стороны, и из травяных и кустарниковых – с другой. Из общего количества обнаруженных видов (32) семь не были обнаружены в травяных и кустарниковых фитоценозах, а шесть – в лесных (см. табл. 1). Причем все эти виды малочисленны. По структуре доминирующего комплекса видов можно выделить три варианта сообщества (рис. 2,б), соответствующие крайним фитоценозам в лесостепном градиенте (луговым степям и высокорослым лесам), а также экотонным (опушечным). В степных условиях характерными доминантами являются *C. kahli*, *C. sylvatica*, *E. strigosa*, в кустарниковых – *C. a. sphagnicola*, *P. penardi*, *E. s. glabra*, в высокорослых лесах – *C. aerophila*, *Ph. hemisphaerica*, *T. lineare*. В остепненных и болотистых лугах, а также низкорослых лесах специфические доминанты отсутствуют.



а



б

Рис. 2. Результаты классификации (а) и ординации (б) локальных сообществ раковинных амёб: 1 ГК – первая главная компонента (объясняет 58,9 % общей дисперсии видовой структуры), 2 ГК – вторая главная компонента (23,9 %); степь – фитоценозы луговой степи, луг – фитоценозы остепненных и болотистых лугов, опушка – кустарниковые фитоценозы (раkitник, вишарник), низк.лес – фитоценозы низкорослых лесов (терновник, черемушник), выс.лес – фитоценозы высокорослых лесов (осинник)

Вдоль лесостепного градиента отчетливо изменяется соотношение жизненных форм раковинных корненожек (рис. 3). Во всех сообществах доминируют амебы с плагиостомной (*Centropuxidae*) и проплагиостомной (*Tri-nematidae*) раковинками, составляя в совокупности 50–65 % от общей численности тестацид. Для сообществ из лесных фитоценозов характерны центростомные (*Cyclopxidae*, *Phryganellidae*) раковинки, образующие 35–40 % обилия. В сообществах из травяных и кустарниковых фитоценозов субдоминантный комплекс формируется простейшими с акростомными (*Euglyphidae*) и криптостомными (*Plagiopuxidae*) раковинками (10–15 %). Отмеченные закономерности отражают изменение режима увлажненности: в более увлажненных биотопах в лесах возрастает доля раковинок с крупным устьем (*Phryganella* spp., *Cyclopxis* spp.), а в засушливых местообитаниях – с маленьким (мелкие *Euglypha* spp.) и щелевидным (*Plagiopuxis* spp.) псевдостомом.

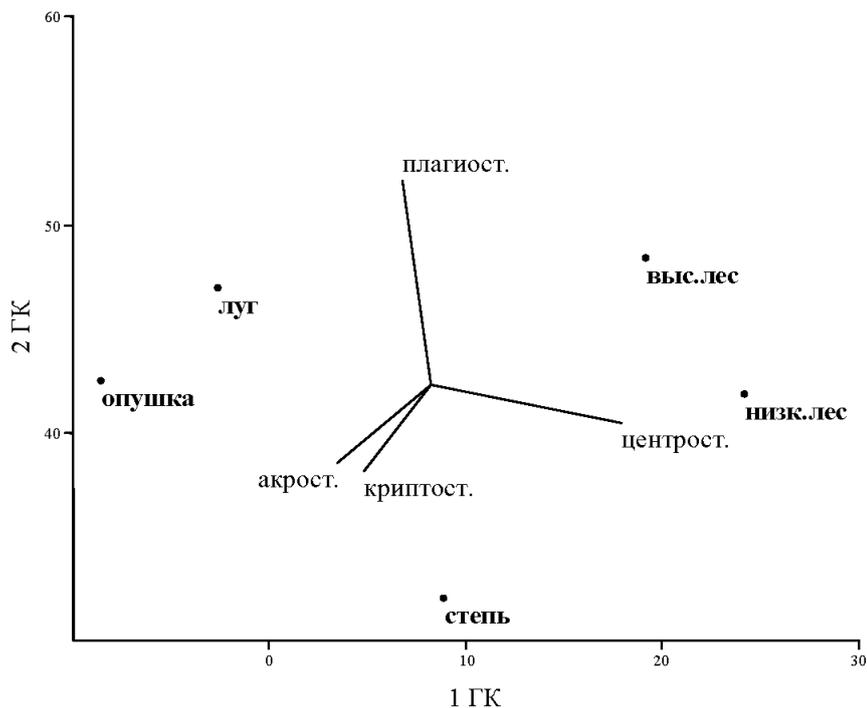


Рис. 3. Результаты ординации локальных сообществ раковинных амеб по соотношению жизненных форм (обозначение биотопов, как в рис. 2; плагиост. – плагиостомные и проплагиостомные, акрост. – акростомные, криптост. – криптостомные, центрост. – центростомные раковинки):  
1 ГК – 82,4 %; 2 ГК – 17,5 %

В табл. 2 представлены интегральные характеристики сообществ раковинных амеб из разных биотопов. В верхнем горизонте (войлоке или подстилке) выше видовое богатство, видовое разнообразие и обилие организмов по сравнению с нижним (гумусовым). Выравненность распределения обилий видов (индекс Пиелу) остается на одном уровне и в разных почвенных горизонтах, и в разных сообществах. Максимальное число видов было обнаружено в биотопах [черемушник] и [вишарник]. Причем, если в первом из этих

биотопов практически все виды обитают в верхнем горизонте, а нижний, по сути, является упрощенным вариантом верхнего, то в последнем горизонты значительно различаются по видовому составу. Минимальное количество видов найдено в биотопах [луг. степь2] и [раkitник] – весьма сухих местообитаниях. В этих же биотопах отмечается максимальное различие в обилии видов между горизонтами: в нижнем горизонте численность крайне низка. Максимальное обилие (300–400 экз./г) характерно для сообществ из более увлажненных биотопов (болотистый луг, вишарник, терновник, черемушник). Наименьшая численность (100–130 экз./г) формируется в сообществах из биотопов [луг. степь2] и [раkitник], а также [осинник]. Первые два сообщества формируются в очень сухих условиях, тогда как последний – на крутом склоне, что, возможно, способствует вымыванию раковин в нижележащие части катены. Во всех биотопах обилие выше в верхнем горизонте, за исключением осинника, в котором, по-видимому, из-за вымывания численность раковин в подстилке ниже, чем в гумусовом горизонте.

Таблица 2

Интегральные характеристики  
в локальных сообществах из разных биотопов

	луг. степь1	луг. степь2	ост. луг	бол. луг	раkitник	вишарник	терновник	черемушник	осинник
<b>Верхний горизонт</b>									
Число видов	10	7	11	12	7	11	13	16	6
Среднее число видов в пробе	5,7	4,3	7,7	8,3	4,7	7,7	9,7	10,7	4,0
Численность, экз./г	180,0	178,1	234,0	462,0	180,0	350,6	426,9	604,0	105,0
Индекс Шеннона	1,51	1,32	1,93	1,92	1,33	1,48	2,04	2,17	1,33
Индекс Пиелу	0,91	0,91	0,95	0,91	0,88	0,73	0,91	0,92	0,97
<b>Нижний горизонт</b>									
Число видов	6	4	6	5	4	7	5	7	6
Среднее число видов в пробе	3,3	2,0	3,7	3,3	2,3	4,7	3,7	4,0	3,3
Численность, экз./г	125,7	29,9	108,8	128,5	45,9	238,0	141,7	221,0	157,7
Индекс Шеннона	1,03	0,60	1,21	1,02	0,68	1,35	1,16	1,10	0,97
Индекс Пиелу	0,86	1,00	0,93	0,85	0,98	0,88	0,90	0,81	0,81
<b>Все горизонты</b>									
Число видов	12	8	11	13	9	16	14	17	10
Среднее число видов в пробе	4,5	3,2	5,7	5,8	3,5	6,2	6,7	7,3	3,7
Численность, экз./г	152,9	104,0	171,4	295,2	113,0	294,3	284,3	412,5	131,4
Индекс Шеннона	1,27	0,96	1,57	1,47	1,01	1,41	1,60	1,63	1,15
Индекс Пиелу	0,88	0,95	0,94	0,88	0,93	0,80	0,90	0,87	0,89

Отмеченные нами показатели обилия значительно ниже приводимых для хвойных и широколиственных лесов таежной зоны [6, 8, 20, 21], но соответствуют приводимым для лесостепи Монголии [23]. Как правило, показате-

ли численности раковинок превышают 1000 экз./г абс. сухой почвы, в среднем находятся в пределах 10–30 тыс. экз./г, а в некоторых случаях превышают 100 тыс. экз./г. Низкая численность, по всей видимости, связана с весьма ксерофильными в целом условиями, формирующимися на участке «Островцовская лесостепь». При этом максимальное обилие – чуть более 600 экз./г – отмечено в подстилке черемухового леса, где развивался слабый моховой покров и наблюдалась наибольшая влажность из всех рассмотренных биотопов.

Гетерогенность проб в пределах одного биотопа (разные повторности) не очень высока и примерно одинакова в разных сообществах. Так, общее число видов в отдельном биотопе только на 35 % (в среднем; в пределах 25–50 % в разных биотопах) определяется различиями между повторностями (бета-компонентой разнообразия). С другой стороны, общее число видов, обнаруженных в Островцовской лесостепи, значительно зависит от различий между разными биотопами. Доля бета-компоненты в среднем составляет 65 %. Доля живых особей от общего числа раковинок в изученных биотопах невелика. В сообществах из травяных и кустарниковых фитоценозов она в среднем составляет 7,6–15,4 %. В ценозах из лесов живых особей значительно меньше (2,1–3,4 %). В остепненном лугу, вишарнике, терновнике и осиннике живых особей раковинных амёб в гумусовом горизонте не было обнаружено. В луговых степях доля живых особей примерно одинакова в разных горизонтах, а на болотистом лугу, ракатнике и черемушнике этот показатель ниже в поверхностном горизонте. Полученные значения соответствуют имеющимся данным по таежным лесам [20, 24], где отмечается, что численность живых клеток обычно не превышает 25 % от общей.

#### **Градиент «степь – остепненный лес – лес»**

Исследования проводили в разнотипных участках Кунчеровской лесостепи в июле 2006 г., включающей все этапы перехода от ксерофитных степей через ксеромезофитные луговые степи и остепненные порослевые дубравы, мезофитные дубравы и осинники к гигрофитным ивнякам.

Изучение населения почвенных раковинных амёб осуществлялось на девяти площадках, включающих различные растительные ассоциации лесостепного экотона, отражающие переход степного фитоценоза в лесной (Новикова, Соколова, 2008): от псаммофильной степи в разнотравно-днепровско-ковыльно-типчакковой ассоциации с развитым моховым (1) и лишайниковым (2) покровом, через луговую степь в узколистноковыльно-разнотравной ассоциации (3), березово-дубовый наземнейниково-разнотравный колок в центре луговой степи (4), опушку дубраво-кострцово-разнотравную (5), клено-дубняк разнотравный (6), дубо-липняк бересклетовый (7), осинник снытевый (8) к ивняку крапивному (9), расположенному в западине. Площадки 1–5 располагались на плакоре, 6–8 – на склоне, 9 – в западине.

Почва на участках настоящей степи (1 и 2) – чернозем среднemosный малогумусный супесчаный на ожелезненном песке [25]. Горизонт  $A_0$  мощностью 2–3 см представлен эпигейными мхами и кустистыми лишайниками; перегнойно-аккумулятивный горизонт  $A_1$  – желтовато-серый, рыхлый, очень непрочной мелко-комковатой структуры, супесчано-пылеватый. Почва под луговой степью – чернозем выщелоченный легко-суглинистый среднemosный малогумусный на карбонатном опесчаненном мергеле, подстилаемом

песком.  $A_0$  – степной войлок с небольшим количеством эпигейных мхов мощностью до 1 см,  $A_1$  – темно-серый, комковато-пылеватый, рыхлый, легко-суглинистый.

Почва под дубовым колком темно-серая лесная среднемошная среднесуглинистая.  $A_0$  – лиственный опад и степной войлок мощностью 2 см,  $A_1$  – темно-бурый, равномерно окрашенный, комковато-пылеватый, супесчаный, рыхлый. Почва под дубравной опушкой и клено-дубняком – чернозем оподзоленный маломощный среднегумусный среднесуглинистый на щебенчато-суглинистом делювии.  $A_0$  – степной войлок с листовым опадом мощностью 3 см,  $A_1$  – темно-бурый, равномерно окрашенный, среднесуглинистый, пылевато-комковатый, рыхлый.

Почва под дубо-липняком – темно-серая лесная среднемошная среднегумусная среднесуглинистая.  $A_0$  – лиственный опад мощностью 2 см,  $A_1$  – темно-серый со слабым буроватым оттенком, среднесуглинистый, комковато-мелко-ореховатый, рыхлый. Почва под осинником – дерново-глеевая маломощная среднегумусная супесчаная на супесчаных элювиальных отложениях.  $A_0$  – лиственный опад мощностью 1 см,  $A_g$  – перегнойно-аккумулятивного горизонта с признаками оглеения. Почва под ивняком – торфяно-глеевая маломощная среднегумусная тяжелосуглинистая. Т – торфяной горизонт мощностью 4 см, G – глеевый горизонт.

В обследованных почвах обнаружено 28 видов и форм раковинных амёб (табл. 3). Наиболее обычными видами, встреченными во всех биотопах, были *Centropuxis aerophila sphagnicola* и *Phryganella acropodia*, наиболее типичным структурообразующим видом – *Cyclopxis kahli* (этот вид входил в состав доминирующей группировки в 70 % биотопов).

В составе населения преобладают четыре семейства – Centropuxidae, Cyclopxidae, Euglyphidae, Trinematidae. Вместе они составляют 75 % всего видового разнообразия. Большая часть обнаруженных видов – эврибионты, распространенные в широком диапазоне почв и часто доминирующие в лесных и луговых биогеоценозах средней части Восточно-Европейской равнины [8, 21, 26]. Интересно нахождение необычной, более мелкой формы (диаметр раковинки 30–35 мкм) ординарного педобионта *Centropuxis aerophila sphagnicola*; причем она в достаточных количествах находилась в биотопах наряду с раковинками типичных размеров (49–66 мкм). Вполне возможно, в условиях сильно засушливого климата формирование более мелкого варианта представляет собой реализацию дополнительных адаптивных вариаций для поддержания устойчивости популяций [27].

В составе населения преобладают (40–60 % от общей численности в разных биотопах) виды с плагиостомными раковинками (из родов *Centropuxis* и *Trinema*; устье смещено вбок и часто прикрыто козырьком), наиболее типичными для почвенных условий (Гельцер и др., 1985). При этом в более ксерофильных условиях – на степных участках – их доля выше (55–60 %) по сравнению с лесными территориями (40–45 %), что отражает приспособляемость сообщества как целого к недостатку влаги. Напротив, в более увлажненных условиях лесов возрастает доля видов (45–50 %) с центростомными раковинками (из родов *Cyclopxis* и *Phryganella*; устье крупное, широко открытое, расположено в центре) по сравнению со степями (25–35 %). Помимо представителей вышеперечисленных жизненных форм, в сообществах обитают мелкие организмы с акростомными раковинками с маленьким терминальным устьем.

Таблица 3

Видовой состав и относительные обилия (% по численности)  
почвообитающих раковинных амёб в Кунчеровской лесостепи

Вид	Биотоп				
	степь	луг	опушка	сух.лес	вл.лес
<i>Arcella catinus</i>	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0
<i>Centropyxis aerophila</i>	<b>8,9</b>	<b>11,6</b>	<b>13,1</b>	<b>9,6</b>	5,8
<i>C. a. sphagnicola</i>	<b>12,1</b>	<b>15,2</b>	<b>22,5</b>	<b>14,6</b>	<b>11,4</b>
<i>C. a. sphagnicola</i> (мелкая форма)	0,0	4,6	0,0	0,1	0,0
<i>C. constricta</i>	1,1	0,0	0,0	0,2	1,0
<i>C. elongata</i>	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
<i>C. sylvatica</i>	6,7	0,0	<b>9,6</b>	<b>14,3</b>	<b>13,4</b>
<i>C. sylvatica globulosa</i>	2,2	<b>10,8</b>	0,0	1,5	0,3
<i>Corythion dubium orbicularis</i>	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cyclopyxis ambigua</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7
<i>C. arcelloides</i>	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4
<i>C. eurystoma</i>	3,4	<b>11,6</b>	<b>9,1</b>	6,7	7,9
<i>C. kahli</i>	1,0	1,8	<b>29,2</b>	<b>24,4</b>	<b>25,8</b>
<i>Euglypha compressa glabra</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
<i>E. denticulata</i>	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
<i>E. scutigera</i>	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
<i>E. strigosa</i>	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
<i>E. tuberculata</i>	<b>16,4</b>	7,7	1,3	2,9	3,8
<i>Heleopera petricola</i>	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
<i>H. sylvatica</i>	0,0	3,1	1,2	2,8	2,4
<i>Phryganella acropodia</i>	<b>23,6</b>	6,7	9,2	<b>11,3</b>	<b>10,1</b>
<i>Ph. hemisphaerica</i>	1,9	4,7	0,4	2,6	5,5
<i>Tracheleuglypha dentata</i>	1,0	0,0	0,0	0,7	3,8
<i>Trigonopyxis microstoma</i>	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
<i>Trinema complanatum</i>	9,0	<b>12,5</b>	2,8	6,6	5,5
<i>T. c. platystoma</i>	1,0	1,8	0,0	0,0	0,0
<i>T. lineare</i>	<b>10,1</b>	0,0	0,0	0,5	0,1
<i>T. penardi</i>	0,0	1,8	0,8	0,0	0,4

**Примечания.** Жирным выделены относительные обилия, превышающие 8 %.  
Типы биотопов: степь – участки псаммофильной степи, луг – луговая степь, опушка – дубовый колок в степи и остепненная опушечная дубрава, сух.лес – клено-дубняк и дубо-липняк, вл.лес – осинник и ивняк.

При ординации локальных сообществ из разных типов биотопов (рис. 4) выделяются три варианта: из псаммофильной степи (с характерными доминантами *Phryganella acropodia*, *Euglypha tuberculata*, *Trinema lineare*), луговой степи (*Centropyxis sylvatica globulosa*, мелкая форма *Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Trinema complanatum*) и лесных фитоценозов (*Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*). Иными словами, в краевых биогеоценозах (остепненных лесах и колках в центре степи) не формируются специфические сообщества, они, напротив, оказываются весьма похожими на развивающиеся в настоящих лесных биогеоценозах (даже весьма увлажненных ивняках и осинниках!).

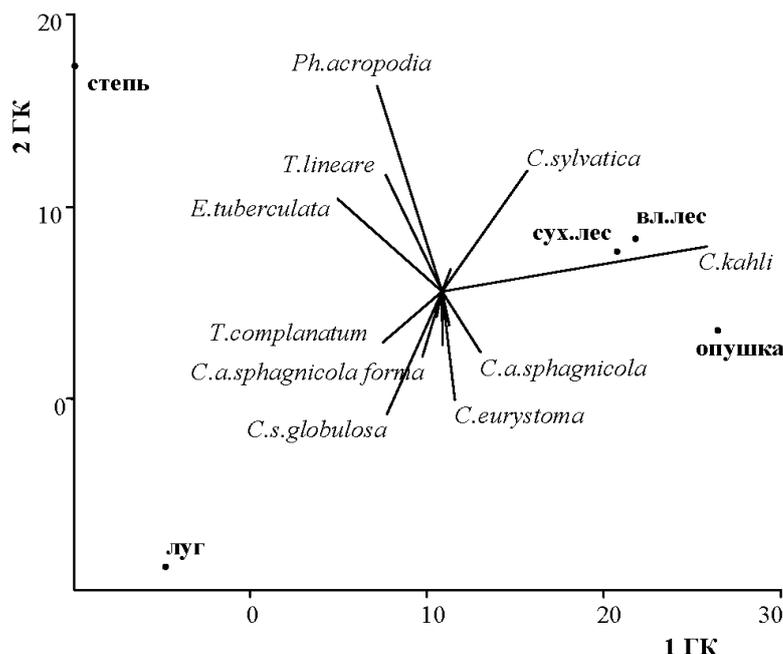


Рис. 4. Результаты ординации сообществ по видовой структуре:  
 1 ГК – первая главная компонента, объясняющая 69,8 % общей дисперсии  
 видовой структуры; 2 ГК – вторая главная компонента – 22,1 %

Большую специфику локальных комплексов раковинных корненожек из травяных фитоценозов подтверждают результаты кластерного анализа, представленные на рис. 5. Различия сообществ тестацид в лесах определяются почвенным горизонтом, где они формируются (в слое  $A_0$  доминирует *Cycloporuxis kahli*, в  $A_1$  – *Centroporuxis sylvatica*), а в степях – типом фитоценоза. Следовательно, в более увлажненных биотопах дифференциация сообщества простейших определяется в первую очередь факторами, связанными с вертикальной стратификацией экосистем, а в более засушливых – горизонтальной гетерогенностью. Этот вывод подтверждается и при оценке уровня горизонтальной гетерогенности ценозов в пределах однородных биотопов (рис. 6). Более высокие значения среднего индекса сходства Пианки в лесах свидетельствуют о большей гомогенности сообществ корненожек. С другой стороны, в наиболее сухих местообитаниях (псаммофильной степи и горизонте  $A_0$  луговой степи) отмечаются минимальные значения индексов сходства, что говорит о значительной горизонтальной неоднородности сообщества. При проведении подобного анализа сообществ раковинных амёб из Островцовской лесостепи оказалось, что наиболее гетерогенные протозооценозы формируются в пограничных между степными и лесными кустарниковых биотопах, что еще раз подтверждает специфику Кунчеровского варианта лесостепного градиента с краевым биоценозом, представленным остепненной дубравой.

С увеличением увлажненности растут видовое богатство и обилие раковинок (рис. 7). Различия в плотности организмов между протозооценозами из степей и лесов достоверны ( $p < 0,05$ ). Причем в сообществах простейших из опушечных фитоценозов (остепненных лесов) количество обнаруженных видов снижается по сравнению с таковыми из травяных и настоящих лесных

фитоценозов, а численность раковинок находится на промежуточном уровне. Следовательно, уровень обилия раковинок в почвах находится в прямой зависимости от степени увлажненности, тогда как показатели видового богатства и разнообразия (значения индексов Шеннона в сообществах раковинных амёб из разных биотопов находятся в пределах 1,8–2,4 и изменяются ненаправленно) варьируют более сложным образом и не определяются напрямую влажностью местообитания.

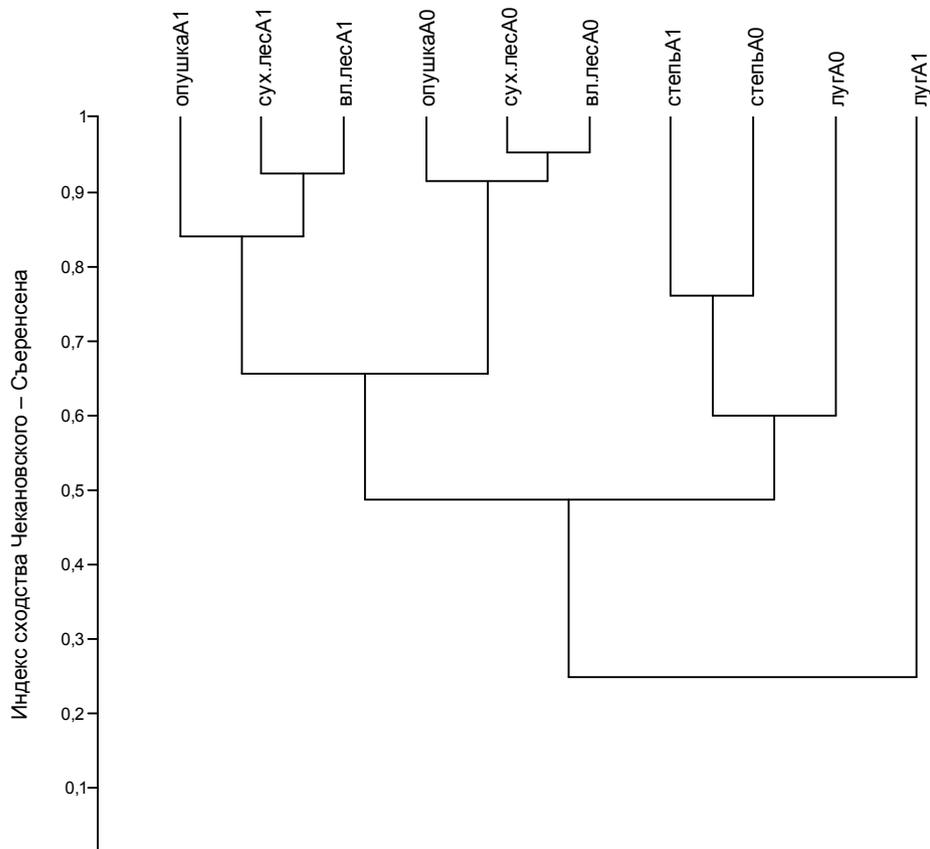


Рис. 5. Классификация сообществ раковинных амёб из разных типов биотопов и почвенных горизонтов  $A_0$  и  $A_1$

Следует отметить крайне низкие численности раковинных корненожек, не превышающие 100 экз./г, в наиболее ксерофильных условиях псаммофильных и луговых степей. Эти данные хорошо согласуются с оценками Г. А. Коргановой [8], которая для степей отмечает минимальные значения обилия в несколько сотен экз./г. Вместе с тем в почвах тайги и зоны широколиственных лесов обилия, как правило, составляют несколько тысяч экз./г с максимальными показателями свыше 130 тыс. экз./г в ельниках гумидной зоны. Обилия раковинных корненожек в степных биотопах Островцовской лесостепи также находятся в пределах нескольких сотен экз./г. Интересно, что обилие организмов в сфагновых биотопах переходного болота, примыкающего к району исследования, значительно выше и находится в пределах 30–100 тыс. экз./г [28].

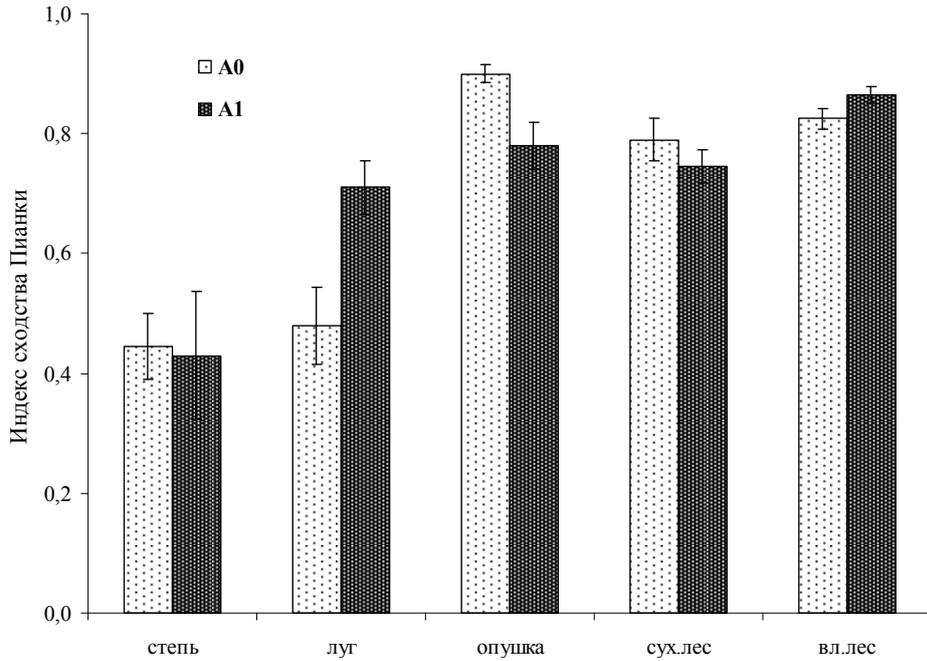


Рис. 6. Изменение пространственной гетерогенности (индекс сходства Пианки) видовой структуры сообщества раковинных амёб из почвенных горизонтов  $A_0$  и  $A_1$  в пределах отдельных типов микробиотопов. Планки погрешностей – ошибка средней

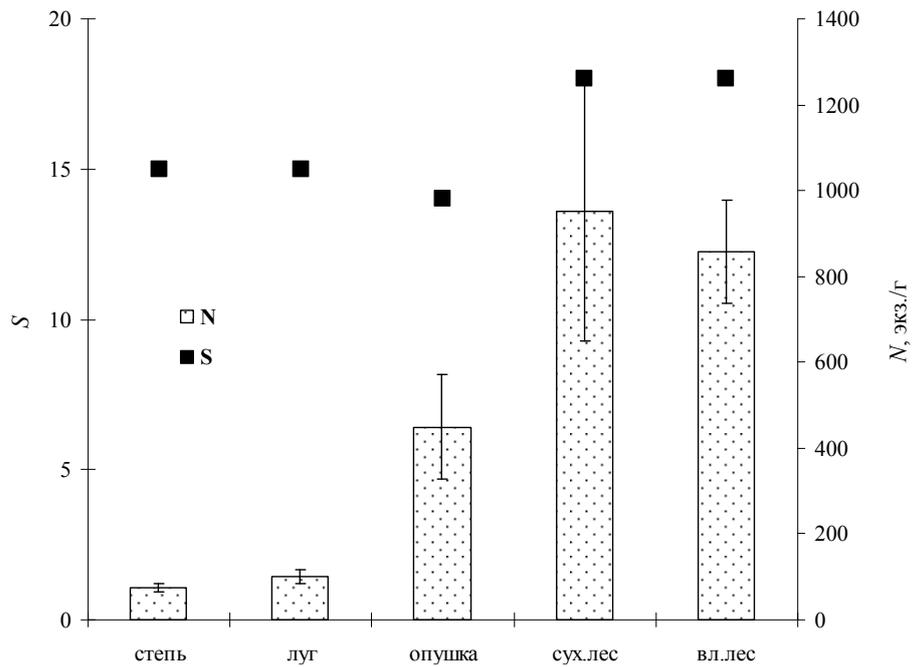


Рис. 7. Изменение количества обнаруженных видов ( $S$ ) и плотности ( $N$ ) раковинных амёб в ряду типов биотопов. Планки погрешностей – ошибка средней

### Заключение

Таким образом, проведенные исследования, посвященные анализу закономерностей изменения видового состава и структуры населения почвообитающих раковинных амёб на градиенте «степь–лес», позволили обнаружить весьма структурированное сообщество.

При исследовании населения раковинных корненожек в Островцовской лесостепи в экотонном ряду перехода ксерофитных степных фитоценозов через ксеромезофитные луга и опушечные (кустарниковые) фитоценозы к мезофитным низкорослым и высокорослым лесам обнаружено, что сообщество разделяется на три варианта, различающиеся составом группировок доминирующих видов. Эти варианты развиваются в наиболее контрастных фитоценозах – ковыльных степях (доминанты *Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Euglypha strigosa*), с одной стороны, и осинниках (*Centropyxis aerophila*, *Trinema lineare*, *Phryganella hemisphaerica*) – с другой, а также в экотонных опушечных (кустарниковых) фитоценозах (*Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Plagiopyxis penardi*). В мезофитных лесах возрастает доля видов с центростомной раковинкой, а в ксерофитных степях – мелких форм с акростомными и криптостомными раковинками. Обилие раковинок невысоко (100–400 экз./г абс. сухой почвы) и возрастает с повышением увлажненности биотопа.

При исследовании населения раковинных амёб в Кунчеровской лесостепи в экотонном ряду перехода от ксерофитных псаммофильных степей через ксеромезофитные луговые степи и остепненные порослевые дубравы, мезофитные дубравы и осинники к гигрофитным ивнякам обнаружено, что вдоль градиента формируются три варианта сообществ простейших, соответствующих псаммофильной степи (доминанты *Phryganella acropodia*, *Euglypha tuberculata*, *Trinema lineare*), луговой степи (*Centropyxis sylvatica globulosa*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Trinema complanatum*) и лесным фитоценозам (*Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*). В более увлажненных биотопах (лесах) дифференциация сообщества корненожек определяется факторами, связанными с вертикальной почвенной стратификацией, а в более засушливых (степях) – горизонтальной гетерогенностью. С увеличением увлажненности растут видовое богатство и обилие раковинных амёб: в степях обилие не превышает 100 экз./г абс. сухой почвы, а в лесах достигает 1150 экз./г.

Картина дифференциации сообщества почвообитающих раковинных амёб вдоль лесостепного градиента имеет свою специфику в соответствии с характером почвенного покрова и растительности. Так, в Кунчеровской лесостепи на специфических почвах, переходных между темно-серыми лесными и черноземами оподзоленными, и при отсутствии ярко выраженного экотонного фитоценоза (представленного остепненными дубравами) отсутствует и экотонная группировка раковинных амёб. Население разделяется на варианты, формирующиеся в псаммофильных степях, луговых степях и лесах. В Островцовской лесостепи на черноземах, типичных, выщелоченных и оподзоленных, при хорошо сформированных экотонных кустарниковых фитоценозах нами была обнаружена иная картина: сообщество раковинных амёб распадалось на варианты, соответствующие луговым степям, высокорослым увлажненным лесам, а также опушечным кустарниковым ценозам.

Вместе с тем в обоих случаях сообщества почвенной нанофауны были представлены сходным набором обычных педобионтных видов (хотя доми-

нирующий комплекс существенно различался) и жизненных форм, характерных для почв с невысоким обилием, типичным для засушливых местообитаний. Более того, одни и те же виды проявляли разные предпочтения в зависимости от варианта лесостепи. Так, *Cyclopyxis kahli* и *Centropyxis sylvatica* в Островцах доминировали в ксерофитных луговых степях, а в Кунчерово – в мезофитных лесах.

О закономерностях формирования видового разнообразия в сообществах почвообитающих раковинных корненожек в лесостепи можно также судить, анализируя соотношения альфа- и бета-компонент в общей структуре разнообразия [29]. Сообщества раковинных амёб из обоих лесостепных участков (Кунчеровского и Островцовского) характеризуются сходными параметрами альфа- и бета-разнообразия. Так, кумулятивные кривые, отражающие зависимость количества обнаруженных видов ( $S$ ) от числа отобранных проб ( $N$ ), хорошо ( $R^2 = 0,99$ ) описываются для Островцов уравнением  $S = 9,97N^{0,37}$ , а для Кунчерово –  $S = 9,99N^{0,32}$ . Это означает, что в среднем в одной почвенной пробе размером 5 г в лесостепи следует ожидать нахождения 10 видов раковинных амёб при схожих параметрах бета-разнообразия (отражаются в величинах степени приведенных уравнений). Доли альфа-компоненты в формировании гамма-разнообразия на уровне отдельных биотопов [29] также весьма сходны и составляют 69 % для Островцов и 73 % для Кунчерово. На уровне всего лесостепного участка доли альфа-компоненты несколько отличаются (39 % в Островцах и 46 % в Кунчерово), что отражает большую гетерогенность первого лесостепного участка с выраженным экотонным фитоценозом по сравнению со вторым.

В целом фауна раковинных амёб исследуемых почв близка к таковой почв хвойных и лиственных лесов Европейской России [8, 24, 30].

С увеличением увлажненности растут видовое богатство и обилие раковинок. Следует отметить крайне низкие численности раковинных амёб, не превышающие 100 экз./г, в наиболее ксерофильных условиях. Эти данные хорошо согласуются с данными Г. А. Коргановой [9], которая для степей отмечает минимальные значения обилия, а также с данными А. А. Рахлеевой [31], которая отмечает увеличение видового разнообразия с повышением влажности биотопа. Обнаруженные нами показатели обилия значительно ниже приводимых для хвойных и широколиственных лесов таежной зоны [7, 8, 20, 24, 26, 31], но соответствуют приводимым для лесостепи Монголии [23].

В статье [21] о раковинных амёбах почв Мещерской низменности говорится, что преобладающими являются четыре семейства: Cyclopyxidae, Centropyxidae, Euglyphidae, Trinematidae (как и в наших исследованиях). Эти данные отличаются от результатов, полученных для таежных почв Западной Сибири [31], где доминантный комплекс раковинных амёб представлен семействами: Hyalospheniidae, Centropyxidae, Euglyphidae. Снижена доля представителей таких семейств, как Cyclopyxidae, Trinematidae. Вместе они составляют около 75 % видового разнообразия. Большая часть обнаруженных видов – эврибионты, распространенные в широком диапазоне почв и часто доминирующие в лесных и луговых биогеоценозах средней части Восточно-Европейской равнины [9, 21].

## Список литературы

1. **Чистякова, А. А.** Кустарниковая растительность заповедника «Приволжская лесостепь» и ее роль в процессах залесения степей / А. А. Чистякова // Бюлл. Самарская Лука. – 1993. – Вып. 4. – С. 94–110.
2. **Новикова, Л. А.** Структура и динамика растительности Кунчеровской лесостепи / Л. А. Новикова, М. С. Соколова // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. – 2008. – № 14. – С. 13–25.
3. **Спрыгин, И. И.** Борьба леса со степью в Пензенской губернии / И. И. Спрыгин. – Пенза : Изд-во Губземупр, 1922. – 20 с.
4. **Добровольский, Г. В.** География почв / Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская. – М. : Изд-во МГУ, 2006. – 460 с.
5. **Гельцер, Ю. Г.** Почвенные раковинные амёбы и методы их изучения / Ю. Г. Гельцер, Г. А. Корганова, Д. А. Алексеев. – М. : Изд-во МГУ, 1985. – 79 с.
6. **Алексеев, Д. В.** Раковинные амёбы почв болотных лесов северной подзоны европейской тайги : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Алексеев Д. В. – М. : МПГУ, 1984. – 16 с.
7. **Бобров, А. А.** Эколого-географические закономерности распространения и структуры сообществ раковинных амёб (Protozoa: Testacea) : дис. ... д-ра биол. наук / Бобров А. А. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 341 с.
8. **Корганова, Г. А.** Раковинные амёбы в почвах хвойно-широколиственных лесов как показатели особенностей среды : дис. ... канд. биол. наук / Корганова Г. А. – М. : ИЭМЭЖ РАН, 1979. – 227 с.
9. **Корганова, Г. А.** Почвенные раковинные амёбы (Protozoa, Testacea): фауна, экология, принципы организации сообществ : дис. ... д-ра биол. наук / Корганова Г. А. – М. : ИПЭЭ РАН, 1997. – 343 с.
10. **Рахлеева, А. А.** Особенности пространственного распределения раковинных амёб (Testacea, Protozoa) в равнинном ландшафте (на примере Южной Мещеры) : дис. ... канд. биол. наук / Рахлеева А. А. – М. : ИПЭЭ РАН, 2000. – 176 с.
11. **Блинохватова, Ю. В.** Внутрипарцеллярное распределение раковинных амёб в сосновых и дубовых лесах / Ю. В. Блинохватова, Е. А. Ембулаева, Ю. А. Мазей // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2011. – № 1. – С. 53–60.
12. **Блинохватова, Ю. В.** Структура сообществ почвообитающих раковинных амёб в сосновых лесах в разных пространственных масштабах исследования / Ю. В. Блинохватова, Е. А. Ембулаева, Ю. А. Мазей // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. – 2011. – № 25. – С. 312–316.
13. **Мазей, Ю. А.** Структура сообщества раковинных амёб (Testacealobosea; Testaceafilosea; Amphitremidae) в напочвенных сфагномах смешанных лесов Среднего Поволжья / Ю. А. Мазей, О. А. Бубнова // Вестник зоологии. – 2008. – № 1. – С. 41–48.
14. **Мазей, Ю. А.** Раковинные амёбы в сфагновых биотопах заболоченных лесов / Ю. А. Мазей, О. А. Бубнова // Зоологический журнал. – 2009. – Т. 88, № 4. – С. 387–397.
15. **Мазей, Ю. А.** Структура сообщества почвенных раковинных амёб в Островцовской лесостепи (Среднее Поволжье): эффект лесостепного градиента / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева // Успехи современной биологии. – 2008. – Т. 128, № 5. – С. 532–540.
16. **Мазей, Ю. А.** Изменение сообществ почвообитающих раковинных амёб вдоль лесостепного градиента в Среднем Поволжье / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева // Аридные экосистемы. – 2009. – Т. 15, № 37. – С. 13–23.
17. **Трулова, А. С.** Сезонная динамика структуры сообщества раковинных амёб в Среднем Поволжье / А. С. Трулова, Ю. А. Мазей // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. – 2012. – № 29. – С. 397–404.

18. **Чернышов, В. А.** Сообщества почвообитающих раковинных амёб в биогеоценозах подтаежной зоны Западной Сибири и их изменения вдоль ландшафтных катен / В. А. Чернышов, Ю. А. Мазей // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. – 2010. – № 20. – С. 66–73.
19. **Мазей, Ю. А.** Особенности микропространственного распределения почвообитающих раковинных амёб в лесах Среднего Поволжья / Ю. А. Мазей, Ю. В. Блинохватова, Е. А. Ембулаева // Аридные экосистемы. – 2011. – Т. 17, № 46. – С. 37–46.
20. **Рахлеева, А. А.** К вопросу об оценке численности и видового разнообразия раковинных амёб (Rhizopoda, Testacea) в таежных почвах / А. А. Рахлеева, Г. А. Корганова // Зоологический журнал. – 2005. – Т. 84. – С. 1427–1436.
21. **Корганова, Г. А.** Раковинные амёбы (Testacea) почв Мещерской низменности / Г. А. Корганова, А. А. Рахлеева // Зоологический журнал. – 1997. – Т. 76. – С. 261–268.
22. **Chardez, D.** Ecologie generale des thecamoebiens / D. Chardez // Bull. Inst. Agron. Stat. Rech. Gembloux. – 1965. – Т. 33. – Р. 307–341.
23. **Корганова, Г. А.** Почвенные раковинные амёбы (Protozoa, Arcellinida) лесостепи Монголии / Г. А. Корганова // Зоологический журнал. – 1988. – Т. 67, вып. 11. – С. 1605–1615.
24. **Корганова, Г. А.** Раковинные амёбы (Testacida) лесных почв Московской обл. / Г. А. Корганова // Почвенные беспозвоночные Московской обл. – М. : Наука, 1982. – С. 25–41.
25. **Дюкова, Г. Р.** Особенности структуры почвенно-растительного покрова Кунчеровской степи и проблема ее происхождения : материалы Всерос. конф., посв. 120-летию со дня рожд. И. И. Спрыгина / Г. Р. Дюкова, Л. А. Новикова. – Пенза : ПГПУ им. В. Г. Белинского, 1998. – С. 88–93.
26. **Рахлеева, А. А.** Изменение структуры и разнообразия комплексов почвенных тестацей (Testacea, Protozoa) по элементам мезорельефа Южной Мещеры / А. А. Рахлеева // Известия АН. Сер. Биология. – 1998. – № 6. – С. 749–754.
27. **Bobrov, A. A.** Morphological variability of testate amoebae (Rhizopoda: Testacealobosea, Testaceafilosea) in natural populations / A. A. Bobrov, Yu. A. Mazei // Acta Protozoologica. – 2004. – Vol. 43. – P. 133–146.
28. **Мазей, Ю. А.** Видовой состав и структура сообщества раковинных амёб в сфагновом болоте на начальном этапе его становления / Ю. А. Мазей, О. А. Бубнова // Известия АН. Сер. Биология. – 2007. – № 6. – С. 738–747.
29. **Mazei, Yu. A.** Biodiversity patterns in protozoan communities: linking processes and scales / Yu. A. Mazei // Protistology. – 2008. – Vol. 5, № 4. – P. 268–280.
30. **Гельцер, Ю. Г.** Раковинные амёбы (Prptzpa, Testacida) в почвах / Ю. Г. Гельцер, Г. А. Корганова, Д. А. Алексеев // Генезис и экология почв Центрально-лесного государственного заповедника. – М. : Наука, 1979. – С. 197–229.
31. **Рахлеева, А. А.** Раковинные амёбы (*Testacea, Protozoa*) таежных почв Западной Сибири (Сургутское полесье) / А. А. Рахлеева // Известия АН. Сер. Биология. – 2002. – № 6. – С. 752–762.

### References

1. Chistyakova A. A. *Byull. Samarskaya luka* [Bulletin. Samara bend]. 1993, iss. 4, pp. 94–110.
2. Novikova L. A., Sokolova M. S. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky]. 2008, no. 14, pp. 13–25.
3. Sprygin I. I. *Bor'ba lesa so step'yu v Penzenskoy gubernii* [Struggle between forest and steppe in Penza province]. Penza: Izd-vo Gubzemupr, 1922, 20 p.
4. Dobrovolskiy G. V., Urusevskaya I. S. *Geografiya pochv* [Geography of soil]. Moscow: Izd-vo MGU, 2006, 460 p.

5. Gell'tser Yu. G., Korganova G. A., Alekseev D. A. *Pochvennye rakovinnnye ameby i metody ikh izucheniya* [Soil shell amoeba and study methods thereof]. Moscow: Izd-vo MGU, 1985, 79 p.
6. Alekseev D. V. *Rakovinnnye ameby pochv bolotnykh lesov severnoy podzony evropeyskoy taygi: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Shell amoeba of bog forest soils of northern sub-zone of european taiga: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: MPGU, 1984, 16 p.
7. Bobrov A. A. *Ekologo-geograficheskie zakonomernosti rasprostraneniya i struktury soobshchestv rakovinnnykh ameb (Protozoa: Testacea): dis. d-ra biol. nauk* [Ecological-geographical regularities of distribution and structure of shell amoeba associations (Protozoa: Testacea): dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Moscow: Izd-vo MGU, 1999, 341 p.
8. Korganova G. A. *Rakovinnnye ameby v pochvakh khvoyno-shirokolistvennykh lesov kak pokazateli osobennostey sredy: dis. kand. biol. nauk* [Shell amoeba in soils of mixed coniferous-broad-leaved forests as an environment specificity indicator: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: IEMEZh RAN, 1979, 227 p.
9. Korganova G. A. *Pochvennye rakovinnnye ameby (Protozoa, Testacea): fauna, ekologiya, printsipy organizatsii soobshchestv: dis. d-ra biol. nauk* [Soil shell amoeba (Protozoa, Testacea): fauna, ecology, association organization principles: dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Moscow: IPEE RAN, 1997, 343 p.
10. Rakhleeva A. A. *Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya rakovinnnykh ameb (Testacea, Protozoa) v ravninnom landshafte (na primere Yuzhnoy Meshchery): dis. kand. biol. nauk* [Specifics of area distribution of shell amoeba (Testacea, Protozoa) in flat landscape (by the example of Yuzhnaya Meshchera): dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: IPEE RAN, 2000, 176 p.
11. Blinokhvatova Yu. V., Embulaeva E. A., Mazei Yu. A. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* [XXI century: results of the past and problems of the present plus]. 2011, no. 1, pp. 53–60.
12. Blinokhvatova Yu. V., Embulaeva E. A., Mazei Yu. A. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky]. 2011, no. 25, pp. 312–316.
13. Mazei Yu. A., Bubnova O. A. *Vestnik zoologii* [Zoology bulletin]. 2008, no. 1, pp. 41–48.
14. Mazei Yu. A., Bubnova O. A. *Zoologicheskiy zhurnal* [Zoological journal]. 2009, vol. 88, no. 4, pp. 387–397.
15. Mazei Yu. A., Embulaeva E. A. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Progress of modern biology]. 2008, vol. 128, no. 5, pp. 532–540.
16. Mazei Yu. A., Embulaeva E. A. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystem]. 2009, vol. 15, no. 37, pp. 13–23.
17. Trulova A. S., Mazei Yu. A. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky]. 2012, no. 29, pp. 397–404.
18. Chernyshov V. A., Mazei Yu. A. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky]. 2010, no. 20, pp. 66–73.
19. Mazei Yu. A., Blinokhvatova Yu. V., Embulaeva E. A. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2011, vol. 17, no. 46, pp. 37–46.
20. Rakhleeva A. A., Korganova G. A. *Zoologicheskiy zhurnal*. [Zoological journal]. 2005, vol. 84, pp. 1427–1436.
21. Korganova G. A., Rakhleeva A. A. *Zoologicheskiy zhurnal* [Zoological journal]. 1997, vol. 76, pp. 261–268.
22. Chardez D. *Bull. Inst. Agron. Stat. Rech. Gembloux*. 1965, vol. 33, pp. 307–341.
23. Korganova G. A. *Zoologicheskiy zhurnal* [Zoological journal]. 1988, vol. 67, no. 11, pp. 1605–1615.
24. Korganova G. A. *Pochvennye bespozvonochnye Moskovskoy obl.* [Soil invertebrates of Moscow region]. Moscow: Nauka, 1982, pp. 25–41.

25. Dyukova G. R., Novikova L. A. *Osobennosti struktury pochvenno-rastitel'nogo pokrova Kuncherovskoy stepi i problema ee proiskhozhdeniya: materialy Vseros. konf., posv. 120-letiyu so dnya rozhd. I. I. Sprygina* [Structural specifics of soil-plant cover of Kuncherovskaya steppe the origin problem thereof: proceedings of the All-Russian conference commemorating 120<sup>th</sup> jubilee of I. I. Sprygin]. Penza: PGPU im. V. G. Belinskogo, 1998, pp. 88–93.
  26. Rakhleeva A. A. *Izvestiya AN. Ser. Biologiya* [Proceedings of the Academy of Sciences. Series: Biology]. 1998, no. 6, pp. 749–754.
  27. Bobrov A. A., Mazei Yu. A. *Acta Protozoologica*. 2004, vol. 43, pp. 133–146.
  28. Mazei Yu. A., Bubnova O. A. *Izvestiya AN. Ser. Biologiya* [Proceedings of the Academy of Sciences. Series: Biology]. 2007, no. 6, pp. 738–747.
  29. Mazei Yu. A. *Protistology*. 2008, vol. 5, no. 4, pp. 268–280.
  30. Gel'tser Yu. G., Korganova G. A., Alekseev D. A. *Genezis i ekologiya pochv Tsentral'no-lesnoy gosudarstvennogo zapovednika* [Genesis and ecology of soils of Tsentralno-lesnoy state nature reserve]. Moscow: Nauka, 1979, pp. 197–229.
  31. Rakhleeva A. A. *Izvestiya AN. Ser. Biologiya* [Proceedings of the Academy of Sciences. Series: Biology]. 2002, no. 6, pp. 752–762.
- 

***Мазей Юрий Александрович***

доктор биологических наук,  
профессор, кафедра зоологии  
и экологии, Пензенский  
государственный университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: yurimazei@mail.ru

***Mazei Yuri Alexandrovich***

Doctor of biological sciences, professor,  
sub-department of zoology and ecology,  
Penza State University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

***Ембулаева Елена Александровна***

кандидат биологических наук,  
научный сотрудник, кафедра  
зоологии и экологии,  
Пензенский государственный  
университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: embulaewa@mail.ru

***Embulaeva Elena Aleksandrovna***

Candidate of biological sciences,  
researcher, sub-department of zoology  
and ecology, Penza State University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

***Трулова Алиса Сергеевна***

аспирант, Пензенский  
государственный университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: alisa.trulowa@yandex.ru

***Trulova Alisa Sergeevna***

Postgraduate student, Penza State  
University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

---

УДК 593.11

**Мазей, Ю. А.**

**Раковинные амебы в почвах лесостепных биогеоценозов (по материалам заповедника «Приволжская лесостепь») / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева, А. С. Трулова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 5–26.**

УДК 595.7:502.172: 502.211 (470.345)

А. Б. Ручин, Л. В. Егоров, С. К. Алексеев

**АННОТИРОВАННЫЙ СПИСОК ЖУКОВ-МЕРТВООДОВ  
(COLEOPTERA, SILPHIDAE) МОРДОВИИ**

**Аннотация.** Подведены итоги изучения фауны мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) Мордовии. Приводится аннотированный список представителей семейства, включающий 21 вид. К самым распространенным видам с высокой численностью в отдельных биотопах относятся: *Oiceoptoma thoracicum* (Linnaeus, 1758), *Silpha carinata* (Herbst, 1783), *Silpha obscura* (Linnaeus, 1758), *Nicrophorus vespillo* (Linnaeus, 1758) и *Nicrophorus vespilloides* (Herbst, 1783).

**Ключевые слова:** мертвоеды, Silphidae, фауна, Мордовия.

А. В. Ruchin, L. V. Egorov, S. K. Alekseev

**THE ANNOTATED LIST OF CARRION BEETLES  
(COLEOPTERA, SILPHIDAE) IN MORDOVIA**

**Abstract.** The data on carrion beetles fauna (Coleoptera, Silphidae) in Mordovia are summarized. The annotated list including 21 species of the family is presented. The species *Oiceoptoma thoracicum* (Linnaeus, 1758), *Silpha carinata* (Herbst, 1783), *Silpha obscura* (Linnaeus, 1758), *Nicrophorus vespillo* (Linnaeus, 1758) and *Nicrophorus vespilloides* (Herbst, 1783) are the most widespread and abundant in some biotopes.

**Key words:** carrion beetles, Silphidae, fauna, Mordovia.

Представители небольшого семейства мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) в большинстве своем являются некрофагами и способствуют быстрой утилизации трупов различных животных. Лишь некоторые из них могут нанести определенный вред сельскохозяйственным культурам [1].

Несмотря на небольшой видовой состав, до сих пор не было опубликовано обзорной работы по жукам-мертвоедам Республики Мордовия. Первые упоминания о видах семейства с территории региона можно найти в Справочной книге Пензенской губернии под редакцией В. П. Попова (1901) и в известной сводке Г. Г. Якобсона [2]. Сведения по Silphidae Мордовского государственного природного заповедника опубликованы в ряде статей [3–9]. В отдельных публикациях последних двух десятилетий содержатся современные данные по составу семейства и некоторым экологическим характеристикам таксонов [10–20].

Один из видов семейства – мертвоед четырехточечный [*Dendroxena quadrimaculata* (Scopoli, 1771)] – внесен в региональную Красную книгу (2005) (как *Xylodrepa quadripunctata* L.).

**Материал и методика**

Материал для работы собирался авторами в сезоны 2005–2013 гг. с использованием общепринятых энтомологических методов полевых исследований [21]. В общей сложности исследовано более 2000 экз. Для сборов авторов указываются место находки (рис. 1), дата сбора и общее число изученных

экземпляров. Обработаны также материалы других исследователей (см. данные этикеток).

Ниже приводится аннотированный список видов семейства. Номенклатура и распространение таксонов выверены по ряду известных работ [22, 23]. Исследованный материал хранится в коллекции Мордовского заповедника (п. Пушта), коллекции Биологического музея Мордовского университета (Саранск) и личной коллекции Г. Б. Семишина (Саранск).

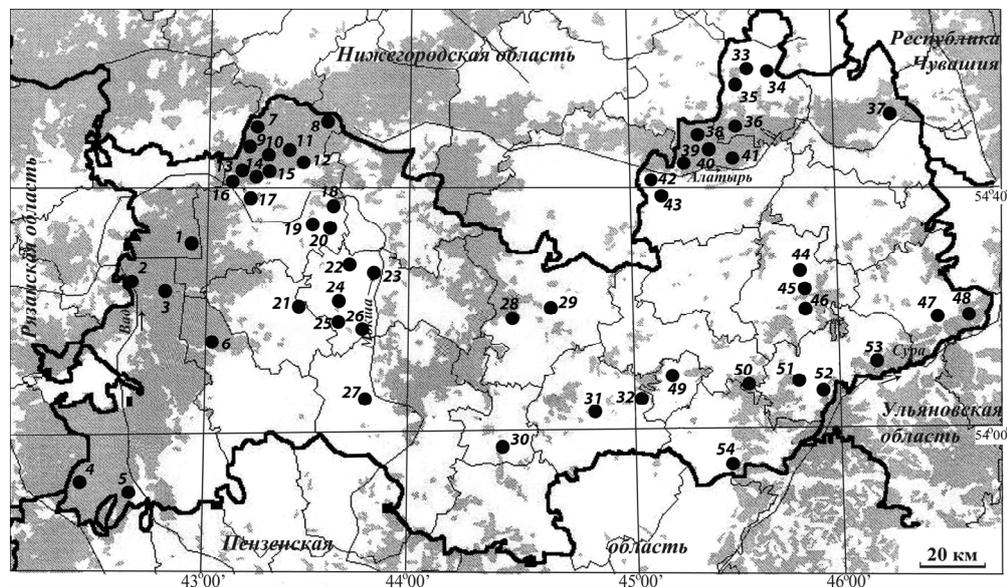


Рис. 1. Места сбора материала:

**Теньгушевский р-н:** 1 – Барашево. **Зубово-Полянский р-н:** 2 – 5 км ЮЗ д. Быстрищи; 3 – Явас; 4 – Выша; 5 – Удево. **Торбеевский р-н:** 6 – Виндрей. **Темниковский р-н:** 7 – Мордовский заповедник, кв. 34, корд. Средняя Мельница; 8 – Мордовский заповедник, кв. 87; 9 – Мордовский заповедник, кв. 203, кв. 276; 10 – Мордовский заповедник, кв. 408, кв. 440; 11 – Мордовский заповедник, кв. 368, кв. 340/368, кв. 341, кв. 394; 12 – Мордовский заповедник, корд. Павловский, кв. 375; 13 – корд. Инорский, кв. 423/424, кв. 436; 14 – кв. 438; 15 – Пушта, корд. Новенький; 16 – Мордовский заповедник, корд. Таратинский, кв. 443; 17 – Темников; 18 – Михайловка; 19 – Дасаево; 20 – Тарханы. **Атюрьевский р-н:** 21 – Дмитриев Усад. **Краснослободский р-н:** 22 – Селищи; 23 – Краснослободск; 24 – Беликовские Выселки; 25 – Слободские Дубровки; 26 – Ефаево. **Ковылкинский р-н:** 27 – Троицк. **Старошайговский р-н:** 28 – Старое Шайгово; 29 – Лемдяй. **Кадошкинский р-н:** 30 – Адашево. **Рузаевский р-н:** 31 – Инсар-Акшино; 32 – Левженский. **Большеигнатовский р-н:** 33 – Чапамо (нежилая), Б. Игнатово; 34 – Кучкаево; 35 – Протасово; 36 – НП «Смольный», Лесной. **Ардатовский р-н:** 37 – Светотехника. **Ичалковский р-н:** 38 – НП «Смольный», Обрезки, Калыши; 39 – НП «Смольный», Новые Ичалки; 40 – НП «Смольный», 4 км ССВ п. Смольный; 41 – НП «Смольный», Ташкино; 42 – Ханинеевка; 43 – Лобаски. **Чамзинский р-н:** 44 – Каменка; 45 – Комсомольский; 46 – Большое Маресево. **Дубенский р-н:** 47 – Явлейка; 48 – Николаевка; 49 – г. Саранск. **Лямбирский р-н:** 50 – Екатериновка. **Большеберезниковский р-н:** 51 – Гарт; 52 – Пермиси; 53 – биостанция Мордовского госуниверситета, 9 км Ю с. Симкино. **Кочкуровский р-н:** 54 – Старые Турдаки.

## Результаты и обсуждение

## Список видов мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) Мордовии

1. *Aclypea opaca* (Linnaeus, 1758)

Ичалковский, Ромодановский районы [20].

Распространение. Голарктика. Широко распространен в Евразии (на север – до тундры), нередок в Южной Европе.

Биология. Растительноядный вид, питается всходами злаков, сорняками из маревых [24]. По некоторым данным вид отлавливается только на полях [19].

2. *Aclypea undata* (O. F. Mueller, 1776)

Рузаевский район [25].

Распространение. Евразия: от Западной Европы до долины Ангары, от Швеции до Малой Азии.

Биология. Растительноядный вид. Генерация однолетняя [24].

3. *Dendroxena quadrimaculata* (Scopoli, 1771)

Мордовский заповедник [6]. Теньгушевский, Ельниковский, Большеберезниковский [26], Zubovo-Полянский районы [15].

Материал. 49 экз. Удево, 23.V.2005. Левженский, V.2007. Виндрей, 14.V.2008. Светотехника, 18.V.2008. Большое Маресево, 13.VI.2008. Старые Турдаки, VI–VII.2008. Краснослободск, V.2009. Ханинеевка, 12.VI.2009. Тарханы, V.2009. Селищи, V.2009. Михайловка, VI–VII.2012. г. Темников, 10.V.2013. Мордовский заповедник: Пушта, 09.V.2012, 13.V.2012; Инорский, 22.V.2012; кв. 443, IV–V.2012; кв. 340/368, V–VI.2012; кв. 368, V–VI.2012; кв. 339, V–VI.2012; кв. 375, V–VI.2012; кв. 341, VI–VII.2012; кв. 423/424, V–VI.2012; кв. 438, VI–VII.2012; кв. 394, VI–VII.2012, 3 экз. Чамзинский р-н: окр. п. Комсомольский, 17.V.2005, 1 экз. (М. К. Рыжов). Кочуровский р-н: окр. Подлесная Тавла, 23.V.2011, лес, 1 экз. (Г. Б. Семишин). Окр. г. Саранск, 29.V.2012, 1 экз. (Г. Б. Семишин).

Распространение. Европа. Интродуцирован в Северную Африку и Северную Америку. В Мордовии встречается довольно часто.

Биология. Активный хищник. Нами был замечен при поедании экземпляра *Oiceoptoma thoracicum*. Основные места обитания в республике: лиственные и смешанные леса, сосняки с подростом березы. Попадает в почвенные ловушки, часто отмечается на листьях кустарников и подроста деревьев, на лесных дорогах. По некоторым данным вид отлавливается только в лесах, причем везде редок [19]. Занесен в Красную книгу Республики Мордовия как уязвимый вид (2005). Однако нами предложено исключить вид из списка охраняемых таксонов [3].

4. *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758)

Мордовский заповедник [9]. Теньгушевский, Ельниковский, Ичалковский районы, г. Саранск [20, 27].

Материал. 3 экз. Лесной, 05.IX.2008. Мордовский заповедник: Павловский, 28.VII.2011; Новенький, 09.VII.2012. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, корд. «Долгий мост», 31.VIII.1984, 2 экз. (О. Г. Волков).

Распространение. Транспалеаркт. В Мордовии отмечен только в Темниковском, Теньгушевском, Ельниковском, Ичалковском и Большеигнатовском районах, г. Саранск.

Биология. Некробионт. Жуки питаются падалью крупных животных [22]. Нами отмечен только в лесах. Малочисленный вид (табл. 1). Активен с мая по сентябрь. Летит на свет.

Численность мертвоедов (экз./100 ловушко-суток)  
в разных биотопах на территории Республики Мордовия

Локалитет	Вид	Численность	Биотоп
Тарханы, V.2009	<i>D. quadrimaculata</i>	1,9	Лиственный лес
	<i>S. carinata</i>	0,4	
	<i>N. vespillo</i>	1,5	
Ханинеевка, V–VI.2009	<i>S. carinata</i>	1,3	Лиственный лес
	<i>N. investigator</i>	1,9	
	<i>N. vespillo</i>	4,1	
Селищи, V.2009	<i>D. quadrimaculata</i>	0,4	Лиственный лес
	<i>Ph. atrata</i>	0,4	
Мордовский заповедник, Пушта, IV–VI.2009	<i>Ph. atrata</i>	0,2	Молодой сосняк
	<i>N. vespilloides</i>	0,2	
Екатериновка, V.2009	<i>O. thoracicum</i>	0,3	Старый березняк
	<i>S. carinata</i>	12,0	
	<i>S. obscura</i>	1,3	
	<i>S. tristis</i>	0,3	
Дмитриев Усад, VI–VII.2012	<i>S. obscura</i>	0,4	Березняк
	<i>Th. rugosus</i>	0,4	
	<i>N. investigator</i>	0,8	
	<i>N. vespillo</i>	0,4	
Новые Ичалки, V–VII.2009	<i>N. vespillo</i>	0,2	Молодой сосняк
	<i>N. vespilloides</i>	1,8	
Мордовский заповедник, кв. 34, VI–VII.2011	<i>S. carinata</i>	9,4	Смешанный лес, гарь
	<i>N. humator</i>	0,6	
	<i>N. vespillo</i>	0,3	
	<i>N. vespilloides</i>	0,6	
Мордовский заповедник, кв. 443, IV–V.2012	<i>D. quadrimaculata</i>	1,0	Берег озера, широколиственный лес
	<i>O. thoracicum</i>	5,2	
	<i>N. vespillo</i>	8,7	
	<i>N. vespilloides</i>	1,3	
Мордовский заповедник, кв. 423/424, V–VI.2012	<i>D. quadrimaculata</i>	0,4	Широколиственный лес
	<i>O. thoracicum</i>	9,1	
	<i>S. carinata</i>	5,7	
	<i>N. vespillo</i>	4,3	
	<i>N. vespilloides</i>	12,6	
Тарханы, VII–VIII.2012	<i>S. obscura</i>	2,8	Нарушенный луг
	<i>N. sepultor</i>	0,3	
	<i>N. vespillo</i>	0,5	
Смольный, V–VI.2009	<i>Ph. atrata</i>	0,15	Просека под ЛЭП
	<i>S. carinata</i>	1,2	
	<i>S. tristis</i>	0,2	
	<i>N. investigator</i>	0,4	
	<i>N. vespillo</i>	0,3	
	<i>N. vespilloides</i>	0,7	
Мордовский заповедник, Таратинский, VII–VIII.2012	<i>Th. dispar</i>	0,3	Пойменный луг
	<i>N. sepultor</i>	0,5	
	<i>N. humator</i>	1,1	
	<i>N. vespillo</i>	24,6	
	<i>N. vespilloides</i>	10,0	
Лобаски, VI–VII.2009	<i>S. obscura</i>	0,3	Остепненный склон
	<i>N. sepultor</i>	0,3	

**5. *Oiceoptoma thoracicum* (Linnaeus, 1758)**

Саранск [27]. Мордовский заповедник [9]. Мордовия: без указания локалитетов [20, 28].

Материал. 283 экз. Саранск, 23.V.2005, 21.IV.2007. Биостанция Мордовского государственного университета, 28.VI.2003. Ташкино, 22.VII.2006, VII.2007, 25.VII.2007, IV–V.2008. Обрезки, IV–VI.2008, 11.VII.2006, 09.V.2009. Левженский, V.2007. Николаевка, 09.V.2007. Екатериновка, 09.V.2008, V.2009. Виндрей, 14.V.2008. Пермиси, 24.VII.2008. Барашево, V.2008. Явас, V.2008. Ханинеевка, 21.VII.2009. Михайловка, VI–VII.2012. Кучкаево, VII–VIII.2012. Мордовский заповедник, Пушта, 11.IV.2008, IV–VIII.2008, 26.VII.2011, 12.V.2012, 10.VII.2012, 11.VII.2012; Павловский, 04.V.2008; Инорский, 30.VII.2011, 08.V.2012; Новенький, 09.V.2012, IV–V.2012; кв. 368, V.2012; Таратинский, 12.VII.2012, VII–VIII.2012; кв. 443, IV–V.2012; кв. 340/368, V–VI.2012; кв. 203, VI–VII.2012; кв. 436, V–VI.2012; кв. 423/424, V–VI.2012, кв. 19, 37, 08–10.V.2013. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, п. Пушта, 06.VI.1984, 1 экз. (О. Г. Волков).

Распространение. Транспалеаркт. Широко распространен в Европе и Азии. В Мордовии встречается повсеместно.

Биология. В республике обычен в лесных массивах (смешанные, лиственные, реже сосновые леса, просеки, лесозащитные полосы), на пойменных лугах (см. табл. 1). Регулярно попадает в почвенные ловушки. К примеру, при отлове в одном локалитете в почвенные ловушки *O. thoracicum* преобладал именно в смешанном лесу, но не в открытом биотопе [11]. Численность может достигать значительных величин (см. табл. 1). Отмечался нами на трупах мертвоеда *D. quadrimaculata*, остромордой лягушки, серой жабы, обыкновенной гадюки, кротов, кабанов, а также на кучах мусора и соке старых дубов. Кроме того, постоянно фиксировался в местах долговременных колоний грачей [28]. Встречается с апреля по сентябрь.

**6. *Phosphuga atrata* (Linnaeus, 1758)**

Мордовский заповедник [9]. Мордовия: без указания локалитетов [13].

Материал. 57 экз. Лесной, V.2007, IV–V.2008. Левженский, V.2007. Екатериновка, V.2007. Обрезки, 21.V.2008. Большое Маресево, 13.VI.2008. Ташкино, IV–V.2008. Обрезки, IV–VI.2008. Барашево, V.2008. Явас, V.2008. Саранск, IV–VI.2008. Смольный, V–VI.2009. Новые Ичалки, V–VI.2009. Селищи, V.2009. Мордовский заповедник: Пушта, IV–VIII.2008, IV–VI.2009. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, 449 кв., 01.VI.1973, 1 экз. (В. Ф. Феоктистов); 435 кв., 23.IV.1984, 1 экз. (О. Г. Волков).

Распространение. Транспалеаркт, обитает в лесной зоне Евразии. В республике имеет широкое распространение.

Биология. Активный хищник. На полях сельскохозяйственных культур плотность достигает небольших величин [13]. Нами отмечался в лесах различных типов (смешанные, лиственные, сосняки) на просеках, под ЛЭП, на обочинах дорог, в разреженных участках леса. В Саранске обычен в лесопарковых зонах. Нередко отлавливается почвенными ловушками. Обычный вид с невысокой численностью.

**7. *Silpha carinata* (Herbst, 1783)**

Зубово-Полянский район [15], Ичалковский район, НП «Смольный» [16]. Мордовский заповедник [9].

**Материал.** 385 экз. Ташкино, VII.2007. Лесной, V.2007, IV–V.2008. Левженский, V.2007, IV–V.2008. Екатериновка, V.2007, V.2009. Обрезки, IV–VI.2008. Старые Турдаки, VI–VII.2008. Гарт, V.2008. Явлейка, IV–V.2008. Смольный, V–VI.2009. Тарханы, V.2009. Ханинеевка, V–VI.2009. Кучкаево, VII–VIII.2012. Чапамо, VII–VIII.2012. Дасаево, VIII.2012. Троицк, VIII.2012. Ефаево, VIII.2012. Мордовский заповедник: Пушта, IV–VIII.2008, 10.VII.2012; кв. 87, VI–VII.2011; кв. 34, VI–VII.2011; кв. 408, 10.VI.2012; кв. 440, 13.VII.2012; кв. 339, V–VI.2012; кв. 423/424, V–VI.2012; кв. 438, VI–VII.2012; кв. 394, VI–VII.2012. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, 449 кв., 05.VI.1973, 1 экз. (В. Ф. Феокистов).

**Распространение.** Западно-центрально-палеарктический вид. Распространен от стран Западной Европы до долины р. Лена. В Мордовии широко распространен.

**Биология.** *S. carinata* явно предпочитает обитать в лесных биотопах или на их границе [11; табл. 1]. Вид отмечали на остепненных склонах, просеках, под линиями ЛЭП, на лугах, часто в смешанных и широколиственных лесах, сосняках различных типов. Численность может достигать значительных величин (см. табл. 1).

#### **8. *Silpha obscura* (Linnaeus, 1758)**

Атяшевский район [18]. Мордовский заповедник [9].

**Материал.** 281 экз. Лесной, V.2007. Левженский, V.2007, IV–V.2008. Екатериновка, V.2007, V.2009. Лемдяй, 11.V.2008. Обрезки, 24.VI.2008, IV–VI.2008. Лесной, IV–V.2008. Ташкино, IV–V.2008. Явлейка, IV–V.2008. Лобаски, VI–VII.2009. Беликовские Выселки, VI–VII.2012. Дмитриев Усад, VI–VII.2012. Слободские Дубровки, VII–VIII.2012. Тарханы, VII–VIII.2012. Кучкаево, VII–VIII.2012. Б. Игнатово, VII–VIII.2012. Чапамо, VII–VIII.2012. Протасово, VII–VIII.2012. Инсар-Акшино, VII–VIII.2012. Троицк, VIII.2012. Мордовский заповедник, п. Пушта, 13.VII.2012; Долгий мост, 13.07.2012; кв. 368, V–VI.2012; кв. 203, VI–VII.2012; кв. 276, VI–VII.2012; кв. 341, VI–VII.2012. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, 438 кв., 23.V.1984, 1 экз. (О. Г. Волков).

**Распространение.** Транспалеарктический вид. Распространен от стран Западной Европы до долины р. Лены, отмечен в южной части Палеарктики, на Корейском полуострове. В Мордовии встречается довольно часто.

**Биология.** Имаго и личинки – полифаги, но в рационе преобладает животная пища [29]. На полях сельскохозяйственных культур плотность достигает небольших величин [13]. Входит в число доминирующих (плотность более 5 %) видов на суходольном лугу [18]. Численность может достигать значительных величин (см. табл. 1). Чаше, чем предыдущий вид, встречается в открытых стациях (остепненные склоны, луга, опушки лесов, лесополосы по границам полей, разреженные березняки), на горях.

#### **9. *Silpha tristis* (Illiger, 1798)**

Мордовия: без указания локалитетов [13].

**Материал.** 40 экз. Лесной, V.2007. Обрезки, IV–VI.2008. Быстрици, 01.V.2008. Выша, VI.2008. Екатериновка, V.2009. Смольный, V–VI.2009. Чапамо, VII–VIII.2012. Мордовский заповедник: Пушта, IV–VIII.2008; кв. 203, VI–VII.2012; кв. 438, VI–VII.2012; Инорский V–VI.2012.

**Распространение.** Европейский вид, доходит на восток до Урала. В Мордовии обычен.

**Биология.** Встречается на полях сельскохозяйственных культур, где его плотность достигает небольших величин [13]. Нами отмечался в широколиственных, смешанных лесах, на лугах, полянах, просеках.

**10. *Thanatophilus dispar* (Herbst, 1793)**

Мордовия: без указания локалитетов [13, 20].

**Материал.** Мордовский заповедник: корд. Таратинский, VII–VIII.2012, 1 экз.

**Распространение.** Транспалеарктический вид; широко распространен в Евразии, за исключением аридных районов. В Мордовии редок.

**Биология.** Некрофаг. На полях сельскохозяйственных культур плотность достигает от 20,7 (озимая пшеница) до 27,0 % (ячмень) [13]. Встречается и в посевах других зерновых культур [14]. Нами отловлен на пойменном лугу.

**11. *Thanatophilus rugosus* (Linnaeus, 1758)**

Мордовский заповедник [9]. Без указания локалитетов [20].

**Материал.** 1 экз. Дмитриев Усад, VI–VII.2012. Мордовский заповедник: корд. Средняя Мельница, 09.V.2013, 2 экз. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, п. Пушта, 21.V.1984, 1 экз. (О. Г. Волков).

**Распространение.** Транспалеарктический вид. В Мордовии редок.

**Биология.** Мезофильный вид. Встречается на трупах крупных животных в местах повышенной влажности почвы [29]. Нами отмечен на трупе собаки. Малочисленный вид (табл. 1).

**12. *Thanatophilus sinuatus* (Fabricius, 1775)**

Мордовский заповедник [9]. Без указания локалитетов [20].

**Материал.** Темниковский р-н: Мордовский заповедник, кв. 427, 19.IV.1971, 1 экз. (В. Ф. Феоктистов).

**Распространение.** Транспалеарктический вид: широко распространен в Евразии, кроме северных районов. В Мордовии достоверно указан только из Темниковского района.

**Биология.** На полях сельскохозяйственных культур плотность достигает небольших величин – до 1,4 % [13]. Входит в группу малочисленных видов насекомых, обитающих на прилегающих к агроценозам биотопах [17]. Встречается также на трупах животных.

**13. *Nicrophorus antennatus* (Reitter, 1885)**

Мордовия: без указания локалитетов [13, 17]. Нахождение в республике требует подтверждения.

**Распространение.** Встречается от Центральной Европы до Западной Сибири. В Мордовии распространение не изучено.

**Биология.** На полях сельскохозяйственных культур плотность достигает небольших величин: от 0,3 до 1,0 % [13]. При этом данный вид появляется после зимовки одним из первых. Входит в группу малочисленных видов насекомых участков, прилегающих к агроценозам [17]. Некрофаг.

**14. *Nicrophorus germanicus* (Linnaeus, 1758)**

Мордовия: без указания локалитетов [20]. Нахождение в республике требует подтверждения.

**Распространение.** Широко распространен в Евразии, на восток – до Забайкалья и Монголии. В Мордовии распространение не изучено.

**Биология.** Встречается на трупах животных.

**15. *Nicrophorus humator* (Gleditsch, 1767)**

Мордовский заповедник [5, 6].

**Материал.** 15 экз. Мордовский заповедник, Пушта, IV–VIII.2008, 13.V.2012; кв. 34, VI–VII.2011; кв. 340/368, V–VI.2012; кв. 341, VI–VII.2012; Таратинский, VII–VIII.2012. Мордовский заповедник, Темниковский р-н: Мордовский заповедник, 434 кв., 21.VIII.1973, 1 экз. (В. Ф. Феоктистов); кв. 436, 03.VII.2011, 1 экз. (А. А. Орлов).

**Распространение.** Евразия (на восток – до юга Западной Сибири). В Мордовии известен из Темниковского района (с территории Мордовского заповедника).

**Биология.** Нами найден только в лесных (сосняках, смешанных лесах) и, отчасти, пойменных биотопах. Встречен на трупе кабана.

**16. *Nicrophorus interruptus* Stephens, 1830 (= *fossor* Erichson, 1837)**

Мордовский заповедник [9], Атяшевский район [18].

**Материал.** 7 экз. Ташкино, VII.2007. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, корд. «Вальзенский», 11.IX.1984, 1 экз. (О. Г. Волков).

**Распространение.** Транспалеарктический вид: широко распространен в Евразии. В Мордовии отмечен только в Темниковском, Атяшевском и Ичалковском районах.

**Биология.** Некрофаг. Нами найден только в лесных биотопах. Однако другими исследователями отмечался на полях сельскохозяйственных культур [13, 14, 17]. При этом данный вид появлялся после зимовки несколько позже других видов рода. Малочисленный вид (см. табл. 1).

**17. *Nicrophorus investigator* (Zetterstedt, 1824)**

Мордовский заповедник [5–7].

**Материал.** 25 экз. Ташкино, VII.2007. Лесной, 05.IX.2008. Смольный, V–VI.2009. Ханинеевка, V–VI.2009. Беликовские Выселки, VI–VII.2012. Михайловка, VI–VII.2012. Дмитриев Усад, VI–VII.2012. Мордовский заповедник, Павловский, 28.VII.2011; кв. 34, VI–VII.2011; кв. 394, VI–VII.2012. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, п. Пушта, 05.VIII.1984, на свет, 1 экз. (О. Г. Волков).

**Распространение.** Циркумбореальный вид. В Мордовии распространение спорадическое.

**Биология.** Некрофаг. Нами встречался в лесных массивах (смешанные и лиственные леса), в лесополосах, березняках, сосняках. При этом вид преобладает на полянах [11]. По некоторым сведениям [29] предпочитает открытые луговые и степные станции. Летит на свет. Обычный вид.

**18. *Nicrophorus sepultor* (Charpentier, 1825)**

Мордовия: без указания локалитетов [20].

**Материал.** 9 экз. Калыши, V–VII.2009. Лобаски, VI–VII.2009. Слободские Дубровки, VII–VIII.2012. Тарханы, VII–VIII.2012. Мордовский заповедник: Таратинский, VII–VIII.2012.

**Распространение.** Центральнопалеарктический вид. В Мордовии известен только из Ичалковского, Краснослободского и Темниковского районов.

**Биология.** Считается степным видом [29]. Нами отлавливался в сосняке на берегу болота, в луговых станциях (нарушенные и пойменные луга). Малочисленный вид (см. табл. 1).

**19. *Nicrophorus vespillo* (Linnaeus, 1758)**

Мордовский заповедник [5–7], Ичалковский район, НП «Смольный» [16], Zubovo-Полянский район [15], Атяшевский район [18], Саранск [27].

**Материал.** 454 экз. Ташкино, VII.2007, IV–V.2008. Левженский, V.2007. Екатериновка, 09.V.2008. Виндрей, 14.V.2008. Каменка, IV–V.2008. Лесной, IV–V.2008. Обрезки, IV–VI.2008. Старое Шайгово, V.2008. Гарт, V.2008. Быстрицы, 01.V.2008. Барашево, V.2008. Выша, VI.2008. Явас, V.2008. Темников, VI.2008. Саранск, IV–VI.2008. Смольный, V–VI.2009. Новые Ичалки, V–VII.2009. Тарханы, V.2009. Ханинеевка, V–VI.2009. Чапамо, VII–VIII.2012. Протасово, VII–VIII.2012. Адашево, VIII.2012. Тарханы, VII–VIII.2012. Беликовские Выселки, VI–VII.2012. Михайловка, VI–VII.2012. Дмитриев Усад, VI–VII.2012. Слободские Дубровки, VII–VIII.2012. Мордовский заповедник, Пушта, IV–VIII.2008; Павловский, 28.VII.2011, 17.VI.2012; кв. 34, VI–VII.2011; кв. 368, 05.2012; Новенький, 12.VII.2012; IV–V.2012; кв. 443, IV–V.2012; 340/368, V–VI.2012; кв. 375, V–VI.2012; кв. 203, VI–VII.2012; кв. 276, VI–VII.2012; кв. 341, VI–VII.2012; кв. 436, V–VI.2012; 423/424, V–VI.2012; кв. 438, VI–VII.2012; Таратинский, VII–VIII.2012, VII–VIII.2012; кв. 394, VI–VII.2012; кв. 394, VI–VII.2012. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, п. Пушта, 11.VII.1984, 1 экз. (О. Г. Волков).

**Распространение.** Транспалеарктический вид. В Мордовии распространен очень широко.

**Биология.** Один из многочисленных видов. На полях сельскохозяйственных культур плотность достигает 23,4 % [13, 14]. При этом, наряду с *Nicrophorus interruptus*, данный вид появляется после зимовки несколько позже других видов рода. Входит в число доминирующих видов на суходольном лугу [18]. Численность может достигать значительных величин (см. табл. 1). Встречается в самых разнообразных ландшафтах: открытых (остепенные склоны, пойменные и суходольные луга, пастбища) и закрытых (широколиственные, смешанные леса, березняки, лесозащитные полосы, сосняки различных типов) [11, 30]. Отмечен на гарях. Обнаружен на трупе обыкновенной гадюки.

#### 20. *Nicrophorus vespilloides* (Herbst, 1783)

Мордовский заповедник [5–7], Ичалковский район, НП «Смольный» [16], Zubovo-Полянский район [15], Атяшевский район [18], Саранск [27]. Без указания локалитетов [28].

**Материал.** 410 экз. Ташкино, VII.2007. Лесной, V.2007. Саранск, 09.VIII.2008. Обрезки, IV–VI.2008. Темников, VI.2008. Левженский, IV–V.2008. Смольный, V–VI.2009. Новые Ичалки, V–VII.2009. Калыши, V–VII.2009. Мордовский заповедник, Пушта, IV–VIII.2008, IV–VI.2009; кв. 34, VI–VII.2011; корд. Новенький, IV–V.2012; кв. 443, IV–V.2012; кв. 340/368, V–VI.2012; кв. 375, V–VI.2012; кв. 400, VI–VII.2012; кв. 203, VI–VII.2012; кв. 341, VI–VII.2012; кв. 423/424, V–VI.2012; кв. 438, VI–VII.2012; Таратинский, VII–VIII.2012; кв. 394, VI–VII.2012; кв. 287, VI–VII.2012. Темниковский р-н: Мордовский заповедник, 449 кв., 15.VIII.1973, 2 экз. (В. Ф. Феоктистов).

**Распространение.** Циркумбореальный вид; широко распространен в Европе, Северной и Центральной Азии, на севере Северной Америки. В Мордовии распространен повсеместно.

**Биология.** Встречается в самых разнообразных ландшафтах: открытых (остепенные склоны, пойменные и суходольные луга) и закрытых (широколиственные, смешанные леса, сосняки различного типа). Чаще отмечается в лесах [30], где его численность обычно выше (см. табл. 1). Обнаруживается

в местах долговременных колоний грачей, жизнедеятельность которых способствует появлению этого вида наряду с *O. thoracicum* [28]. Некрофаг.

**21. *Nicrophorus vestigator* (Herschel, 1807)**

Краснослободский, Чамзинский и Ромодановский районы [20]. Нахождение в республике требует подтверждения.

Распространение. Евро-сибирский вид. В Мордовии распространение изучено недостаточно.

Биология. Некрофаг. На полях сельскохозяйственных культур плотность гораздо меньше других видов *Nicrophorus* [13]. При этом данный вид появляется после зимовки одним из первых.

Таким образом, для Мордовии к настоящему времени указан 21 вид мертвоедов. Это разнообразие, вероятно, полностью характеризует фауну данного семейства региона. К примеру, в Татарстане выявлено 15 видов мертвоедов [31], в Саратовской области – 19 видов [32]. К самым распространенным видам с высокой численностью в отдельных биотопах относятся: *O. thoracicum*, *S. carinata*, *S. obscura*, *N. vespillo* и *N. vespilloides*. Остальные виды встречаются реже, характеризуются невысокой численностью.

Авторы искренне признательны Г. В. Николаеву (Алматы) за ценные замечания в ходе подготовки рукописи к публикации.

**Список литературы**

1. **Александрович, О. Р.** Обзор фауны жуков-мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) Белоруссии / О. Р. Александрович, А. Д. Писаненко // Вестник Белорусского университета. – Сер. 2. – 1987. – С. 41–44.
2. **Якобсон, Г. Г.** Жуки России и Западной Европы / Г. Г. Якобсон. – СПб. : Изд-во А. Ф. Девриена, 1905–1916. – 1024 с.
3. **Егоров, Л. В.** О статусе некоторых видов жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) в Красной книге Республики Мордовия / Л. В. Егоров, А. Б. Ручин // Редкие животные Республики Мордовия : материалы ведения Красной книги Республики Мордовия за 2009 г. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – С. 21–39.
4. **Егоров, Л. В.** Материалы к познанию колеоптерофауны Мордовского государственного природного заповедника / Л. В. Егоров, А. Б. Ручин // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. – Саранск ; Пушкина, 2012. – Вып. X. – С. 4–57; 2013. – Вып. XI. – С. 133–192.
5. **Нисмерчук, С. М.** Список видов насекомых, зарегистрированных в период с конца лета и осени / С. М. Нисмерчук // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. – Саранск ; Пушкина, 2011. – Вып. VIII. – С. 84–107.
6. **Плавильщиков, Н. Н.** Список видов насекомых, найденных на территории Мордовского государственного заповедника / Н. Н. Плавильщиков // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. – 1964. – Вып. 2. – С. 105–134.
7. **Редикорцев, В. В.** Материалы к энтомофауне Мордовского государственного заповедника / В. В. Редикорцев // Фауна Мордовского государственного заповедника им. П. Г. Смидовича. – М., 1938. – С. 137–146.
8. **Ручин, А. Б.** Первые дополнительные материалы к энтомофауне Мордовского государственного природного заповедника / А. Б. Ручин // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. – Саранск ; Пушкина, 2011. – Вып. IX. – С. 150–182.
9. **Феоктистов, В. Ф.** Список видов насекомых, впервые отмеченных в Мордовском заповеднике и на сопредельных с ним территориях / В. Ф. Феоктистов // Вестник Мордовского университета. – 2011. – № 4. – С. 83–89.

10. Ручин, А. Б. К фауне насекомых двух лесничеств Национального парка «Смольный» (Республика Мордовия) / А. Б. Ручин, Н. Г. Логинова, Д. К. Курмаева // Фауна и экология насекомых. – Ростов-н/Д : Изд-во ЦВВР, 2007. – Вып. 1. – С. 24–33.
11. Ручин, А. Б. К фауне и экологии мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) ООПТ и других территорий Мордовии / А. Б. Ручин, С. К. Алексеев, Д. К. Курмаева // Биоразнообразие: проблемы и перспективы сохранения. – Пенза, 2008. – С. 222–223.
12. Ручин, А. Б. Список видов насекомых национального парка «Смольный» / А. Б. Ручин // Научные труды Национального парка «Смольный». – Саранск ; Смольный, 2008. – Вып. 1. – С. 151–180.
13. Тимралеев, З. А. Вредные и полезные насекомые зерновых культур юга Нечерноземной зоны России / З. А. Тимралеев. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1992. – 184 с.
14. Тимралеев, З. А. Комплексы почвенных жесткокрылых в агроценозах зерновых культур Мордовии / З. А. Тимралеев // Проблемы почвенной зоологии. – Ростов-н/Д : Изд-во обл. ИУУ, 1996. – С. 167–169.
15. Тимралеев, З. А. Биоразнообразие жесткокрылых-герпетобионтов в лиственных лесах Zubovo-Полянского лесничества / З. А. Тимралеев, В. А. Арюков, О. Д. Бардин // Технические и естественные науки: проблемы, теория, практика. – Саранск : СВМО, 2000. – С. 152–154.
16. Тимралеев, З. А. Биоразнообразие жуков-герпетобионтов национального парка «Смольный» / З. А. Тимралеев, В. А. Арюков // Изучение природы бассейна реки Оки. – Калуга : Изд-во КГПУ им. К. Э. Циолковского, 2001. – С. 16–18.
17. Тимралеев, З. А. Роль открытых экосистем в формировании биоразнообразия жуков-герпетобионтов в агроценозах зерновых культур Мордовии / З. А. Тимралеев, В. А. Арюков, О. Д. Бардин // Проблемы изучения и охраны биоразнообразия природных ландшафтов Европы. – Пенза, 2001. – С. 196–198.
18. Тимралеев, З. А. Биоразнообразие почвенных и напочвенных насекомых сукходольного луга / З. А. Тимралеев, О. Д. Бардин, О. М. Бурдаева // Естественно-технические исследования: теория, методы, практика. – Саранск : Ковылк. тип., 2004. – Вып. IV. – С. 99–102.
19. Тимралеев, З. А. Эколого-фаунистическая характеристика мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) агроэкосистем Мордовии / З. А. Тимралеев, О. Д. Бардин // Биоресурсы и биоразнообразие экосистем Поволжья: прошлое, настоящее, будущее. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2005. – С. 126–128.
20. Тимралеев, З. А. Насекомые Мордовии. Ч. II. Жесткокрылые / З. А. Тимралеев, А. Г. Каменев, О. Д. Бардин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 176 с.
21. Фасулати, К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных / К. К. Фасулати. – М. : Высш. шк., 1971. – 424 с.
22. Николаев, Г. В. Жуки-мертвоеды (Coleoptera: Agyrtidae, Silphidae) Казахстана, России и ряда сопредельных стран. Определитель / Г. В. Николаев, В. О. Козьминных. – Алматы : Казак университеті, 2002. – 159 с.
23. Löbl, I. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 2 / I. Löbl, A. Smetana ed. – Stenstrup : Apollo Books, 2004. – 942 p.
24. Пушкин, С. В. Обзор рода *Aclypea* Reitter, 1884 (Coleoptera, Silphidae) юга России и Кавказа / С. В. Пушкин, С. И. Сигида // Вестник Ставропольского государственного университета. – 2005. – № 42. – С. 51–59.
25. Анциферова, Т. А. Некоторые данные о фауне насекомых на посевах кормовых бобов – *Vicia faba* L. / Т. А. Анциферова, П. А. Добросмыслов, А. Т. Макаров // Эколого-фаунистические связи некоторых групп беспозвоночных и позвоночных животных. – Саранск : Мордов. кн. изд-во, 1966. – С. 29–52.
26. Красная книга Республики Мордовия. – Саранск : Мордов. кн. изд-во, 2005. – Т. 2. – 380 с.

27. **Семишин, Г. Б.** Некоторые материалы по находкам жуков (Coleoptera) в Мордовии / Г. Б. Семишин // Вестник Мордовского университета. – 2009. – № 1. – С. 253–255.
28. **Втюрина, Т. П.** Изменение почвенной микрофауны и мезофауны беспозвоночных под воздействием скоплений птиц / Т. П. Втюрина // Мордовский орнитологический вестник. – Саранск, 2003. – С. 6–14.
29. **Пушкин, С. В.** Эколого-фаунистический анализ жуков-мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) Республики Адыгея / С. В. Пушкин, М. И. Шаповалов // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2010. – № 3. – С. 70–80.
30. **Лябзина, С. Н.** О механизмах разделения пищевого ресурса у жуков-мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) / С. Н. Лябзина // XIV съезд Русского энтомологического общества : материалы съезда. – СПб., 2012. – С. 261.
31. **Выборнов, А. А.** Жуки-мертвоеды (Coleoptera, Silphidae) Республики Татарстан / А. А. Выборнов, А. Б. Халидов // Проблемы почвенной зоологии. – М. : Изд-во КМК, 2002. – С. 47.
32. **Сажнев, А. С.** Мертвоеды (Coleoptera, Silphidae) Саратовской области / А. С. Сажнев, Н. В. Роднев // Тр. Ставропольского отд. РЭО. – Ставрополь : АГРУС, 2008. – Вып. 4. – С. 101–104.

### **References**

1. Aleksandrovich O. R., Pisanenko A. D. *Vestnik Belorusskogo universiteta* [Bulletin of Belorussia University]. Ser. 2. 1987, pp. 41–44.
2. Yakobson G. G. *Zhuki Rossii i Zapadnoy Evropy* [Beetles of Russia and Western Europe]. Saint Petersburg: Izd-vo A. F. Devriena, 1905–1916, 1024 p.
3. Egorov L. V., Ruchin A. B. *Redkie zhivotnye Respubliki Mordoviya: materialy vedeniya Krasnoy knigi Respubliki Mordoviya za 2009 g.* [Rare animals of the Republic of Mordovia: materials of the Red book of the Republic of Mordovia in 2009]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2009, pp. 21–39.
4. Egorov L. V., Ruchin A. B. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P. G. Smidovicha* [Proceedings of Mordovia State Nature Reserve named after P. G. Smidovich]. Saransk ; Pushta, 2012, iss. X, pp. 4–57; 2013, iss. XI, pp. 133–192.
5. Nismerchuk S. M. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P. G. Smidovicha* [Proceedings of Mordovia State Nature Reserve named after P. G. Smidovich]. Saransk ; Pushta, 2011, iss. VIII, pp. 84–107.
6. Plavil'shchikov N. N. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P. G. Smidovicha* [Proceedings of Mordovia State Nature Reserve named after P. G. Smidovich]. 1964, iss. 2, pp. 105–134.
7. Redikortsev V. V. *Fauna Mordovskogo gosudarstvennogo zapovednika im. P. G. Smidovicha* [Fauna of Mordovia State Nature Reserve named after P. G. Smidovich]. Moscow, 1938, pp. 137–146.
8. Ruchin A. B. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P. G. Smidovicha* [Proceedings of Mordovia State Nature Reserve named after P. G. Smidovich]. Saransk ; Pushta, 2011, iss. IX, pp. 150–182.
9. Feoktistov V. F. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Bulletin of Mordovia University]. 2011, no. 4, pp. 83–89.
10. Ruchin A. B., Loginova N. G., Kurmaeva D. K. *Fauna i ekologiya nasekomykh* [Fauna and ecology of insects]. Rostov-on-Don: Izd-vo TsVVR, 2007, iss. 1, pp. 24–33.
11. Ruchin A. B., Alekseev S. K., Kurmaeva D. K. *Bioraznoobrazie: problemy i perspektivy sokhraneniya* [Biodiversity: preservation problems and perspectives]. Penza, 2008, pp. 222–223.
12. Ruchin A. B. *Nauchnye trudy Natsional'nogo parka «Smol'nyy»* [Proceedings of “Smolny” National park]. Saransk ; Smol'nyy, 2008, iss. 1, pp. 151–180.

13. Timraleev Z. A. *Vrednye i poleznye nasekomye zernovykh kul'tur yuga Nechernozemnoy zony Rossii* [Injurious and beneficial insects of cereal crops of the south of Non-black soil zone of Russia]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 1992, 184 p.
14. Timraleev Z. A. *Problemy pochvennoy zoologii* [Problems of soil zoology]. Rostov-on-Don: Izd-vo obl. IUU, 1996, pp. 167–169.
15. Timraleev Z. A., Aryukov V. A., Bardin O. D. *Tekhnicheskie i estestvennye nauki: problemy, teoriya, praktika* [Technical and natural sciences: problems, theory, practice]. Saransk: SVMO, 2000, pp. 152–154.
16. Timraleev Z. A., Aryukov V. A. *Izuchenie prirody basseyna reki Oki* [Study of Oka river basin nature]. Kaluga: Izd-vo KGPU im. K. E. Tsiolkovskogo, 2001, pp. 16–18.
17. Timraleev Z. A., Aryukov V. A., Bardin O. D. *Problemy izucheniya i okhrany bioraznoobraziya prirodnykh landshaftov Evropy* [Problems of European natural landscapes biodiversity study and preservation]. Penza, 2001, pp. 196–198.
18. Timraleev Z. A., Bardin O. D., Burdaeva O. M. *Estestvenno-tekhnicheskie issledovaniya: teoriya, metody, praktika* [Natural and technical research: theory, methods, practice]. Saransk: Kovylk. tip., 2004, iss. IV, pp. 99–102.
19. Timraleev Z. A., Bardin O. D. *Bioresursy i bioraznoobrazie ekosistem Povolzh'ya: proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Bioresources and biodiversity of ecosystems of Volga region: past, present, future]. Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta, 2005, pp. 126–128.
20. Timraleev Z. A., Kamenev A. G., Bardin O. D. *Nasekomye Mordovii. Ch. II. Zhestkokrylye* [Insects of Mordovia. Part II. Coleoptera]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2007, 176 p.
21. Fasulati K. K. *Polevoe izuchenie nazemnykh bespozvonochnykh* [Field study of ground invertebrates]. Moscow: Vyssh. shk., 1971, 424 p.
22. Nikolaev G. V., Koz'minykh V. O. *Zhuki-mertvoedy (Coleoptera: Agyrtidae, Silphidae) Kazakhstana, Rossii i ryada sopredel'nykh stran. Opredelitel'* [Burying beetles (Coleoptera: Agyrtidae, Silphidae) of Kazakhstan, Russia and a number of neighbouring countries]. Almaty: Kazak universiteti, 2002, 159 p.
23. Löbl I., Smetana A. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 2* Stenstrup: Apollo Books, 2004, 942 p.
24. Pushkin S. V., Sigida S. I. *Vestnik Stavropol'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Stavropol State University]. 2005, no. 42, pp. 51–59.
25. Antsiferova T. A., Dobrosmyslov P. A., Makarov A. T. *Ekologo-faunisticheskie svyazi nekotorykh grupp bespozvonochnykh i pozvonochnykh zhivotnykh* [Ecological-faunistic bonds of some groups of invertebrates and vertebrates]. Saransk: Mordov. kn. izd-vo, 1966, pp. 29–52.
26. *Krasnaya kniga Respubliki Mordoviya* [Red book of the Republic of Mordovia]. Saransk: Mordov. kn. izd-vo, 2005, vol. 2, 380 p.
27. Semishin G. B. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Bulletin of Mordovia University]. 2009, no. 1, pp. 253–255.
28. Vtyurina T. P. *Mordovskiy ornitologicheskiy vestnik* [Mordovia ornithological bulletin]. Saransk, 2003, pp. 6–14.
29. Pushkin S. V., Shapovalov M. I. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Adygeya State University. Series 4: Natural mathematical and technical sciences]. 2010, no. 3, pp. 70–80.
30. Lyabzina S. N. *XIV s"ezd Russkogo entomologicheskogo obshchestva: materialy s"ezda* [XIVth convention of the Russian entomological society: convention proceedings]. Saint Petersburg, 2012, p. 261.
31. Vybornov A. A., Khalidov A. B. *Problemy pochvennoy zoologii* [Problems of soil zoology]. Moscow: Izd-vo KMK, 2002, p. 47.
32. Sazhnev A. S., Rodnev N. V. *Tr. Stavropol'skogo otd. REO* [Proceedings of Stavropol department of the Russian entomological society]. Stavropol: AGRUS, 2008, iss. 4, pp. 101–104.

***Ручин Александр Борисович***

доктор биологических наук, доцент,  
директор, Мордовский государственный  
природный заповедник  
имени П. Г. Смидовича  
(Республика Мордовия,  
Темниковский район, пос. Пушта)

E-mail: sasha\_ruchin@rambler.ru

***Ruchin Aleksandr Borisovich***

Doctor of biological sciences, associate  
professor, CEO, Mordovia State Nature  
Reserve named after P. G. Smidovich  
(The Republic of Mordovia, Temnikovsky  
district, Pushta township)

***Егоров Леонид Валентинович***

кандидат биологических наук, доцент,  
Государственный природный  
заповедник «Присурский»  
(Чувашская Республика,  
г. Чебоксары, пос. Лесной, 9)

E-mail: platyscelis@mail.ru

***Egorov Leonid Valentinovich***

Candidate of biological sciences, associate  
professor, National Nature Reserve  
«Prisursky»  
(The Chuvash Republic, Cheboksary,  
9 Lesnoy township)

***Алексеев Сергей Константинович***

кандидат биологических наук,  
Калужское общество изучения природы  
(г. Калуга, пер. Старообрядческий, 20)

E-mail: nature@kaluga.ru

***Alekseev Sergey Konstantinovich***

Candidate of biological sciences,  
Kaluga Society of Nature Studies  
(Kaluga, 20 Staroobriadchesky Lane)

---

УДК 595.7:502.172: 502.211 (470.345)

**Ручин, А. Б.**

**Аннотированный список жуков-мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) Мордовии / А. Б. Ручин, Л. В. Егоров, С. К. Алексеев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 27–40.**

В. В. Рыжаков, М. В. Рыжаков

**ТЕОРИЯ И АЛГОРИТМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С БЕСКОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ  
СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
СООТВЕТСТВУЮЩИХ  $Q$ -МАТРИЦ И МАТРИЦ  
ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПЕРЕХОДОВ**

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Биологические системы (популяции) живых организмов характеризуются массовым заселением отдельных территорий. При определенных экологических нарушениях в этом сообществе могут возникать соответствующие нарушения, которые можно использовать в качестве меры экологических нарушений при их количественном оценивании. *Материалы и методы.* При разработке процедур диагностирования биологических систем с бесконечным числом особей и их состояний учитывалась по известным публикациям особенность существования особей. Поэтому в работе предлагаются теория и алгоритмы, которые основаны на определенном вероятностном подходе. Этот подход использует треугольные матрицы с бесконечным числом вероятностей переходов, позволяющим учитывать бесконечное число особей и их состояний. Для получения элементов матрицы вероятностей переходов систем из одного состояния в другое использовались  $Q$ -матрицы и известные уравнения Колмогорова. *Результаты.* На основе использования полученной матрицы вероятностей переходов предложены алгоритмы и методика выборочного контроля состояний системы (популяции) организмов, в которой учитываются особенности использования биномиального и пуассоновского законов, влияющие на точность контроля. *Выводы.* Полученные результаты отличаются существенной утилитарностью в практических приложениях.

**Ключевые слова:** биологическая система, теория, алгоритм, диагностирование,  $Q$ -матрица, вероятности переходов.

V. V. Ryzhakov, M. V. Ryzhakov

**THE THEORY AND ALGORITHM FOR DIAGNOSIS  
OF BIOLOGICAL SYSTEMS WITH AN INFINITE NUMBER  
OF STATES ON THE BASIS OF APPLICABLE  $Q$ -MATRICES  
AND TRANSITION PROBABILITY MATRICES**

**Abstract.** *Background.* Biological systems (populations) of living organisms are characterized by massive population of particular territories. Under certain environmental violations there may occur corresponding violations in this community that can be used as a measure of environmental violations for their quantitative assessment. *Materials and methods.* When developing the procedures for diagnosing biological systems with an infinite number of individuals and their states the peculiarities of specimen existence were taken into account according to some known publications. Therefore, the paper proposes a theory and algorithms which are based on a certain probabilistic approach. This approach uses triangular matrices with an infinite number of transition probabilities that allow taking into consideration an infinite number of specimens and their states. For the acquisition of probability matrix elements for system transitions from one state to another  $Q$ -matrices and known Kolmogorov equation were used. *Results.* Based on the use of the transition probability

matrix there were suggested algorithms and sampling control technique over the states of specimen system (population), which considers the peculiarities of using binomial and Poisson laws affecting the accuracy of control. *Conclusions.* The results obtained are characterized by substantial utility for practical purposes.

**Key words:** biological system, theory, algorithm, diagnosis, Q-matrix, transition probabilities.

Отдельные биологические системы (популяции) живых организмов характеризуются массовым заселением определенных территорий [1]. Число таких организмов может насчитывать миллионы. При определенных экологических нарушениях в этом сообществе могут возникать нарушения (изменения) состояний, которые можно оценить только с использованием вероятностных показателей (надежности). Для диагностирования состояний таких систем на основе вероятностных показателей предлагается использовать определенную теорию и алгоритм, позволяющие учитывать бесконечное (большое) число состояний [2].

В основе предлагаемой теории оценивания состояния систем предлагается использовать треугольную матрицу с бесконечным числом элементов вида [3]

$$Q = \begin{pmatrix} -v & v & 0 & 0 & \dots \\ 0 & -v & v & 0 & \dots \\ 0 & 0 & -v & v & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \quad (1)$$

которой соответствует также треугольная матрица вероятностей переходов  $P(t)$ :

$$P(t) = \begin{pmatrix} P_{11}(t) & P_{12}(t) & P_{13}(t) & \dots \\ 0 & P_{22}(t) & P_{23}(t) & \dots \\ 0 & 0 & P_{33}(t) & \dots \end{pmatrix}, \quad (2)$$

соответствующая в свою очередь цепям Маркова с непрерывным временем.

Используя матричную экспоненту [3]

$$P(t) \cdot e^{tQ} \quad (3)$$

и ее производную (уравнение Колмогорова)

$$P'(t) = P(t) \cdot Q \quad (4)$$

или

$$P'(t) = Q \cdot P(t), \quad (4a)$$

определим выражения элементов матрицы (2).

Из (3) следует

$$P(t=0) = E, \quad (5)$$

что соответствует условию

$$\begin{cases} P_{11}(t=0) = 1 \\ P_{22}(t=0) = 1 \\ \dots\dots\dots \\ P_{ii}(t=0) = 1 \\ \dots\dots\dots \end{cases} \quad (6)$$

С учетом (3) и (4) или (4а) для  $P_{ii}(t)$  получим

$$P'_{ii}(t) = -v \cdot P_{ii}(t), \quad (7)$$

или

$$-v = \frac{P'_{ii}(t)}{P_{ii}(t)}. \quad (8)$$

После интегрирования (8) и потенцирования будем иметь

$$P_{ii}(t) = e^{-vt}. \quad (9)$$

Далее на основе (4а) для  $P'_{i,i+1}(t)$  можем записать

$$P'_{i,i+1}(t) = -vP_{i(i+1)}(t) + vP_{ii}(t). \quad (10)$$

Этому уравнению соответствует

$$P_{i,i+1}(t) = vt \cdot e^{-vt}. \quad (11)$$

Проверки в виде определения  $P'_{i,i+1}(t)$  подтверждают справедливость этого выражения.

Аналогичные процедуры позволяют оценить

$$P_{i,i+2}(t) = \frac{(vt)^2}{2!} e^{-vt}. \quad (12)$$

Используя далее принцип индукции, можем записать

$$P_{i,i+k}(t) = \frac{(vt)^k}{k!} e^{-vt}. \quad (13)$$

С учетом (9), (11)–(13) матрица  $P(t)$  (2) примет вид

$$\begin{pmatrix} e^{-vt} & vt e^{-vt} & \frac{(vt)^2}{2!} e^{-vt} & \dots \\ 0 & e^{-vt} & \frac{vt}{1} e^{-vt} & \dots \\ 0 & 0 & e^{-vt} & \dots \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Элементы матрицы (14) есть выражение закона Пуассона, который характеризуется параметром  $\nu$ . Его общий вид совпадает с (13).

Рассмотрим более подробно особенности этого закона.

Кратко покажем основные свойства потоков событий (например, смен состояний, отказов объектов), которые являются цепями Маркова и которые могут выражаться законом Пуассона.

1. Поток стационарен. Это означает, что вероятность появления  $k$  событий на любом промежутке времени зависит только от числа  $k$  и от продолжительности интервала наблюдения  $t$  и не зависит от начала отсчета. Подтверждение этого следует из формулы (13): вероятность появления  $k$  событий, характеризующих состояния системы, зависит от  $\nu = n \cdot \lambda$ , т.е. от числа  $n$  – объема выборки, и заданной интенсивности ( $\lambda$ ) появления событий:  $\lambda = const$ . Исходя из этого, появление  $k$  событий не зависит от начала отсчета времени.

2. В выражении (13) не используется информация о появлении событий до начала рассматриваемого промежутка, что характеризует свойства отсутствия последействия.

3. Убедимся, что выражение (13) отражает свойство ординарности. Положим  $k=0$  и  $k=1$ , найдем вероятности непоявления событий и появления одного события (одного наблюдения событий):

$$\begin{cases} P(0) = \frac{1}{1} \cdot e^{-\nu t} = e^{-\nu t}; \\ P(1) = \frac{(\nu t)^1}{1!} \cdot e^{-\nu t} = \nu t e^{-\nu t}. \end{cases} \quad (15)$$

Следовательно, вероятность появления более одного события

$$P(k > 1) = 1 - [e^{-\nu t} + \nu t e^{-\nu t}]. \quad (15a)$$

Пользуясь разложением

$$e^{-\nu t} = 1 - \nu t + \frac{(\nu t)^2}{2!} - \dots, \quad (15b)$$

получим

$$\begin{aligned} P(k > 1) &= 1 - \left[ 1 - \nu t + \frac{(\nu t)^2}{2!} + \nu t \left( 1 - \nu t + \frac{(\nu t)^2}{2!} \right) \right] = \\ &= -\frac{(\nu t)^2}{2!} + \frac{(\nu t)^2}{1!} + \frac{(\nu t)^3}{2!} \doteq \frac{(\nu t)^2}{2!}. \end{aligned} \quad (16)$$

При малых значениях  $\nu t$  вероятность появления более одного события пренебрежимо мала, что следует из сравнения  $P(1)$  и  $P(k > 1)$ .

Из изложенного следует, что закон Пуассона – модель потока событий, который является цепью Маркова.

Чтобы смысл параметров закона был более понятен, укажем на его взаимосвязь с другими законами.

Он является предельным выражением биномиального распределения вероятностей

$$P(k(t)) = \frac{n!}{k!(n-k)!} \cdot (\lambda t)^k (1-\lambda t)^{n-k}, \quad (17)$$

где  $\lambda t = g$  – вероятность обнаружения одного события за время наблюдения  $t$ ;  $\lambda$  – интенсивность появления событий ( $\frac{1}{\text{ч}}$ );  $k(t)$  – число событий, наблюдаемых за время  $t$ .

При числе экспериментов  $n \rightarrow \infty$  и при условии, что  $v = n\lambda$  остается конечной величиной, можем записать

$$P(k(t)) = \frac{n(n-1)\dots(n-k+1)}{k!} \cdot (\lambda t)^k (1-\lambda t)^{n-k} \doteq \frac{(vt)^k}{k!} \cdot e^{-vt}. \quad (18)$$

Представляет интерес проверка выполнения условия (марковости матрицы) нормирования суммы вероятностей в каждой строке матрицы (14). Для этого определим сумму  $S(t)$ :

$$S(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(vt)^k e^{-vt}}{k!} = e^{-vt} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(vt)^k}{k!}. \quad (19)$$

Из математического анализа известно, что при  $vt \ll 1$  сумма ряда

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{(vt)^k}{k!} = e^{vt}. \quad (20)$$

Тогда

$$S(t) = e^{-vt} \cdot e^{vt} = 1. \quad (21)$$

Полученный результат (21) – свидетельство того, что условие нормировки вероятности в строках матрицы (14) (марковости) выполняется, при этом любой ее элемент удовлетворяет условию  $\geq 0$ .

С учетом характера приложений матрицу (14) можно интерпретировать так. Ее первая строка соответствует вероятности перехода системы (партии организмов) из исходного состояния  $C1$  в состояние  $C2$  с одним отклонением, в состояние  $C3$  с двумя отклонениями и т.д. – теоретически до  $n_0$  отклонений (всей генеральной совокупности). Сумма всех вероятностей в этой строке должна приближаться к 1.

Вторая строка соответствует исходному состоянию  $C2$ , когда генеральная совокупность составляет  $(n_0 - 1)$  элементов и т.д.

Из изложенного также можно сделать заключение, что закон Пуассона можно использовать для оценивания эффективности статистического (выборочного) контроля (диагностирования) состояния объекта.

Суть выборочного контроля такова: из контролируемой партии (генеральной совокупности) биологических организмов отбирается выборка элементов и подвергается полному контролю. Если доля отклонений в выборке не превышает установленного значения, то всю популяцию (сообщество) можно считать не пострадавшей. Если доля отклонений в выборке превышает установленное значение, то популяция подвергается дальнейшей проверке.

Теперь кратко суть алгоритма выборочной проверки (диагностирования) можно представить в виде отдельных пунктов.

1. Отбирается выборка объемом  $n$  из  $n_0$  – всей генеральной совокупности биологических организмов в исследуемом пространстве.

2. Назначается предельное значение числа отклонений  $[k]$  в партии  $n$ .

3. При  $k < [k]$  партия считается нормальной и вся совокупность  $n_0$  принимается; если  $k > [k]$ , то элементы популяции ( $n_0 - n$ ) подвергаются дальнейшей дополнительной проверке.

4. При выполнении выборочного контроля (диагностирования) необходимо гарантировать установленную долю отклонений в принятой партии объема  $n$ . Для этого необходимо выбрать значения  $n$  и  $[k]$ , которые в свою очередь будут определять оперативную характеристику как вероятность события ( $k < [k]$ ) при доле отклонений ( $g$ ) и объеме выборки  $n$ :

$$P_0(k < [k]) = \sum_{k=0}^{[k]} P(k; n; g), \quad (22)$$

где 0 – индекс при  $P_0(k < [k])$  – означает оперативная характеристика;  $k$  – текущее значение отклонений в партии объема  $n$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, [k]\}$ .

При достаточно малом отношении  $n/n_0$  рекомендуется [4] использовать биномиальный закон распределения вероятностей (17) для вычисления  $P_0(k < [k]; n; g)$  (22). Для этого (17) следует переписать так:

$$P_0(k; n; g) = \frac{n \cdot (n-1) \dots (n-k+1)}{k!} \cdot g^k \cdot (1-g)^{n-k}, \quad (23)$$

и тогда (22) можем представить в виде

$$P_0(k < [k]; n; g) = \sum_{k=0}^{[k]} P(k; n; g) \doteq \sum_{k=0}^{[k]} \frac{n(n-1) \dots (n-k+1)}{k!} g^k \cdot (1-g)^{n-k}. \quad (24)$$

Теперь (23) как приближение (22) в виде (13) запишем так:

$$P_0(k < [k]; n; g) \doteq \sum_{k=0}^{[k]} \frac{(g \cdot n)^k}{k!} \cdot e^{-(g \cdot n)}. \quad (25)$$

Из сравнения (24) и (25) следует, что при вариации  $g$  и  $n$ , но при  $n \cdot g = const$ , по формуле (24) будем получать различные результаты, а по формуле (25) – один и тот же результат на все случаи указанных вариаций. Это подтверждают данные из табл. 3.1.8 [4], в которых вариация объема выборки  $n$  определяется дискретным множеством {15; 30; 60; 150; 300}, а вероятность ( $g$ ) – множеством {0,5; 0,2; 0,1; 0,05; 0,02} при  $g \cdot n = 3 = const$ .

При анализе данных, соответствующих  $[k]=3$ , и при  $30 \leq n \leq 300$  оказывается, что пуассоновский закон дает результаты, совпадающие с биномиальным распределением, а при  $[k]=4$  дает занижение  $P_0$ : при  $n=300$  – примерно на 0,001; при  $n=150$  – примерно на 0,002; при  $n=60$  – примерно на 0,045; при  $n=30$  – примерно на 0,1. При  $[k]=5$  эта тенденция сохраняется, но с меньшими значениями, при  $[k]=6$  тенденция меняет знак. При определенных исследованиях этот факт может вызвать сомнения в правильности методики расчетов, построенной на основе закона Пуассона [4]. Поэтому целесообразно вводить поправки в результат оценивания, основываясь на указанных закономерностях.

### Список литературы

1. **Мазей, Ю. А.** Видовой состав и распределение раковинных амёб в некоторых водоемах и водотоках Среднего Поволжья / Ю. А. Мазей, А. В. Киреев, Е. А. Малышева // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. – 2011. – № 25. – С. 519–523.
2. **Рыжак, В. В.** Теория и алгоритмы диагностирования и прогнозирования состояния технических систем длительного применения на основе цепей Маркова: моногр. / В. В. Рыжак, М. В. Рыжак. Депонирована ВИНТИ РАН 27.03.2013, № 88-V2013. – 55 с.
3. **Кельберт, М. Я.** Вероятность и статистика в примерах и задачах. Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения / М. Я. Кельберт, Ю. М. Сухов. – М.: Изд-во МЦНМО, 2010. – 559 с.
4. **Смирнов, Н. В.** Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 512 с.

### References

1. Mazei Yu. A., Kireev A. V., Malysheva E. A. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky]. 2011, no. 25, pp. 519–523.
2. Ryzhakov V. V., Ryzhakov M. V. *Teoriya i algoritmy diagnostirovaniya i prognozirovaniya sostoyaniya tekhnicheskikh sistem dlitel'nogo primeneniya na osnove tsepey Markova: monogr.* [Theory and algorithms of diagnosing and forecasting the condition of long-term operation technical systems on the basis of Markov circuits: monograph]. Deponirovana VINITI RAN 27.03.2013, № 88-V2013. 55 p.
3. Kel'bert M. Ya., Sukhov Yu. M. *Veroyatnost' i statistika v primerakh i zadachakh. Markovskie tsepi kak otpravnyaya tochka teorii sluchaynykh protsessov i ikh prilozheniya* [Probability and statistics in examples and problems. Markov circuits as a starting point of the theory of random processes and application thereof]. Moscow: Izd-vo MTsNMO, 2010, 559 p.

4. Smirnov N. V., Dunin-Barkovskiy I. V. *Kurs teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistiki dlya tekhnicheskikh prilozheniy* [Course of probability theory and mathematical statistics for technical application]. Moscow: Nauka, 1969, 512 p.
- 

***Рыжаков Виктор Васильевич***

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой технического  
управления качеством, заслуженный  
деятель науки РФ, Пензенская  
государственная технологическая  
академия  
(г. Пенза, проезд Байдукова, 1а)

E-mail: rvv@pgta.ru

***Ryzhakov Viktor Vasil'evich***

Doctor of technical sciences, professor,  
head of sub-department of technical quality  
control, Honoured Scientist of the Russian  
Federation, Penza State Technological  
Academy  
(Penza, 1a Baydukova passage)

***Рыжаков Михаил Викторович***

старший преподаватель, кафедра  
прикладной механики, заведующий  
лабораторией прикладных  
нанотехнологий, Московский  
физико-технический институт  
(государственный университет)  
(Московская область, г. Долгопрудный,  
Институтский переулок, 9)

E-mail: mryzhakov@applmech.mipt.ru

***Ryzhakov Mikhail Viktorovich***

Senior lecturer, sub-department of applied  
mechanics, head of the laboratory  
of applied nanotechnologies, Moscow  
Institute of Physics and Technology  
(State University)  
(Moscow Region, Dolgoprudny,  
9 Institutsky Lane)

---

УДК 519.21.248+57+574

**Рыжаков, В. В.**

**Теория и алгоритм диагностирования биологических систем с бесконечным числом состояний на основе использования соответствующих *Q*-матриц и матриц вероятностей переходов / В. В. Рыжаков, М. В. Рыжаков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 41–48.**

*Д. А. Каташов, В. Н. Хрянин*

**ВЛИЯНИЕ ФИТОГОРМОНОВ И СЕЛЕНАТА НАТРИЯ  
НА МИТОТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ АПИКАЛЬНЫХ  
МЕРИСТЕМ КОРНЕЙ ПРОРОСТКОВ РАПСА  
(*BRASSICA NAPUS*)**

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Как известно, митотическая активность апикальных меристем корней определяет их рост. Целью настоящей работы являлось выявление зависимости митотического индекса ядра как центра регулирования клетки от экзогенного воздействия фитогормонов и селената натрия. *Материалы и методы.* В качестве объекта исследования использовались корни проростков рапса, выращенных на фильтровальной бумаге в чашках Петри с растворами фитогормонов (ИУК, 5 мкМ, ГК, 10 мкМ, 6-БАП, 5 мкМ, брассинолид, 1 мкМ, селенат натрия, 0,005 мкМ). Митотическую активность апикальной меристемы корней оценивали цитологическими методами по общепринятой методике (Паушева, 1974). *Результаты.* В результате исследования было установлено, что обработка семян рапса ИУК приводит к увеличению митотического индекса на 65,3 %, брассинолидом – на 25 %, селенатом натрия – на 11,1 %, воздействие ГК вызывало слабое снижение, а 6-БАП ингибировал митотическую активность апикальной меристемы корней. *Выводы.* На основе полученных результатов сделаны выводы о том, что ИУК, брассинолид и селенат натрия в используемой концентрации стимулировали митотическую активность апикальных меристем корней рапса, и их можно использовать для усиления процессов роста корней, повышения их поглонительной способности и продуктивности растений.

**Ключевые слова:** рапс, фитогормоны, селенат натрия, митотический индекс.

*D. A. Katashov, V. N. Khryanin*

**THE INFLUENCE OF PHYTOHORMONES AND SODIUM  
SELENATE ON THE MITOTIC ACTIVITY OF APICAL  
MERISTEMS OF RAPE GERMINANT ROOTS (*BRASSICA NAPUS*)**

**Abstract.** *Background.* It is known that mitotic activity of apical root meristems influences their growth rate. The aim of this paper is to show the dependence of the mitotic index of the nucleus as the centre of cell regulation and the exogenous effects of phytohormones and sodium selenate. *Materials and methods.* As a research object we used rape germinant roots which were grown on filter paper in Petri dishes with phytohormone solutions indolylacetic acid (IAA, 5 mM), brassinolide (BS, 1 mM), gibberellic acid (GA, 10 mM), sodium selenate ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ , 0,005 M). The mitotic activity of the apical root meristem was estimated by cytological methods (Pauшева, 1974). *Results.* The results of the present study demonstrate that the treatment of the rape seeds with IAA increased the mitotic index by 65,3%, with BS – by 25%, with  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  – by 11,1%, GA slightly reduced the mitotic index, whereas 6-BAP inhibited the mitotic activity of the apical root meristems. *Conclusions.* On the basis of the obtained results we conclude that IAA, BS and sodium selenate in the used concentrations stimulated the mitotic activity of the apical rape root meristems and thus they can be used for the intensification of root growth, the increase of their absorbing ability and plant production.

**Key words:** rape, phytohormone, sodium selenate, mitotic index.

Целью настоящей работы являлось выявление зависимости митотического индекса ядра как центра регулирования клетки от экзогенного воздействия фитогормонов и селената натрия. Для выяснения изменения процессов роста проростков после обработки семян были определены митотические индексы апикальных корневых меристем. Эти ткани в отличие от апикальных меристем побега характеризуются относительной простотой анатомического строения, более четким разделением от зоны растяжения и дифференциации и высокой пролиферативной активностью [1, 2]. Известно, что продолжительность прохождения клеткой зоны меристемы составляет в корнях большинства растений всего несколько суток [3].

### **Материал и методика**

В качестве объекта исследования использовались корни проростков рапса (*Brassica napus*) сорта «Ратник». Семена замачивали на сутки в воде (контроль); растворах фитогормонов: индолилуксусная кислота (5 мкМ), гибберелловая кислота (10 мкМ), 6-бензиламинопурин (5 мкМ), брассинолид (1 мкМ); растворе селената натрия (0,005 мкМ). Семена раскладывали в чашки Петри на фильтровальную бумагу и помещали в бокс, где проращивали их в течение 6 сут. Материал фиксировали в уксусной кислоте с этанолом (1:3) в течение 12 ч. Материал окрашивали 2 %-м раствором ацетокармина и готовили давленные препараты. Митотическую активность апикальной меристемы корней оценивали цитологическими методами при анализе не менее 3000 клеток по общепринятой методике и формулам [4, 5]. Давленные препараты просматривали с помощью светового микроскопа при 600-кратном (об. 40х, ок. 15х) увеличении. Митотический индекс рассчитывался как процент делящихся клеток. Все эксперименты были проведены в 3 биологических и 10 аналитических повторностях. Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью критерия Стьюдента [6].

### **Результаты и обсуждение**

Нами была поставлена серия опытов по изучению влияния фитогормонов и селената натрия на митотическую активность апикальных меристем корней проростков рапса (*Brassica napus*). Используемые в опытах концентрации фитогормонов и селената натрия были подобраны в серии предварительных опытов. Результаты исследований представлены в табл. 1, 2.

В ходе наших опытов было установлено, что обработка семян рапса ИУК приводит к значительному увеличению митотической активности. Применение ИУК увеличило МИ на 65,3 % по отношению к контролю, длина корня увеличивалась на 30,9 %. Обработка семян гибберелловой кислотой снижала митотическую активность на 20,6 %, длина корня при этом не изменялась. Препарат 6-БАП в наших исследованиях в значительной степени ингибировал митотическую активность ткани, величина МИ составила 1,2 %. Рост корней под влиянием цитокинина оказался сильно подавлен. Видимо, концентрация раствора 6-БАП была взята слишком высокой для корней данного вида растений. Обработка семян рапса брассинолидом способствовала увеличению МИ на 25,0 %, длина корней увеличивалась на 19,1 %. Применение селената натрия способствовало незначительному увеличению митотической активности ткани, длина корня при этом не изменялась.

Таблица 1

Влияние фитогормонов и селената натрия на митотическую активность апикальной меристемы корня проростков рапса

Вариант опыта	Митотический индекс, %
Контроль	7,2 ± 0,4
ИУК	11,9 ± 0,6***
ГК	5,8 ± 0,5*
6-БАП	1,2 ± 0,4***
Брассинолид	9,0 ± 0,6**
Селенат натрия	8,0 ± 0,9*

**Примечание.** (M ± m; n = 20; \* – p ≤ 0,05; \*\* – p ≤ 0,01; \*\*\* – p ≤ 0,001 по отношению к контролю).

Таблица 2

Влияние фитогормонов и селената натрия на длину корней проростков рапса

Вариант опыта	Длина корня, см
Контроль	6,8 ± 0,2
ИУК	8,9 ± 0,2**
ГК	6,6 ± 0,2
6-БАП	0,8 ± 0,3***
Брассинолид	8,1 ± 0,2*
Селенат натрия	7,1 ± 0,2

**Примечание.** (M ± m; n = 20; \* – p ≤ 0,05; \*\* – p ≤ 0,01; \*\*\* – p ≤ 0,001 по отношению к контролю).

Таким образом, результаты исследования показали, что ауксин (индолуксусная кислота) играет ключевую роль в формировании апикальных меристем. Развитие корневой системы в большой степени зависит от распределения в ней ауксина. В корне ауксин обеспечивает удлинение клеток в зоне элонгации и дифференцировку сосудистой системы, регулирует развитие и функционирование меристемы корня, вызывает образование боковых и придаточных корней. Известно, что в местах закладки корневых меристем растений формируются максимумы концентрации ауксина, которые обеспечивают формирование анатомической структуры меристем и поддерживают их функционирование и развитие. Стимулирующее влияние на митотическую активность ткани также оказало применение брассинолида. Стоит отметить, что свою физиологическую активность гормон проявлял в чрезвычайно низких концентрациях. Экзогенная обработка брассинолидом вызывала активацию роста клеток как делением, так и растяжением. Имеются данные, которые позволяют говорить, что брассинолид взаимодействует с другими фитогормонами и вовлекается в регуляцию ростовых процессов, активируя работу ДНК- и РНК-полимераз. Таким образом, увеличение МИ, по-видимому, вызвано возрастанием активности фермента РНК-полимеразы I, способствующей увеличению белоксинтезирующего аппарата и усилению синтеза белка [7].

Увеличения митотической активности меристем в результате обработки гибберелловой кислотой, отмеченной некоторыми авторами [8], в ходе наших исследований не обнаружено. Отрицательное влияние гибберелловой кислоты на величину МИ связано, по всей видимости, с увеличением потреб-

ления питательных органических веществ гипертрофированной надземной частью и соответствующим их перераспределением [9]. Несмотря на снижение величины МИ на 20,6 %, по отношению к контролю, длина корней проростков не изменилась. Можно предполагать, что стимуляция роста корней происходила путем растяжения клеток. Применение цитокинина (6-БАП) практически полностью ингибировало митотическую активность и рост корней проростков рапса. Таким образом, типичного эффекта цитокинина, заключающегося в стимуляции деления клеток, в наших исследованиях не наблюдалось, что, по-видимому, связано с повышенной концентрацией цитокинина, взятой в эксперименте, и вызвано нарушением соотношения 6-БАП/ИУК. Все это подтверждает тот факт, что только определенные сочетания концентраций цитокинина и ауксина могут способствовать делению клеток [10].

Увеличение значения митотического индекса в экспериментах с селенатом натрия, по всей видимости, связано со способностью селена влиять на гормональный статус растений [11]. Многими исследователями было отмечено усиление под действием селена протеолитической активности ферментов – папаиназ [12]. Усиление процессов протеинолиза приводит к высвобождению триптофана – предшественника ИУК [13], т.е. селен косвенно вызывает увеличение митотической активности путем синтеза ауксинов.

### **Выводы**

На основе полученных результатов можно сделать выводы о том, что индолилуксусная кислота, брассинолид и селенат натрия, в используемой концентрации, стимулировали митотическую активность апикальных меристем корней соответственно на 65,3, 25,0, 11,1 %. Гибберелловая кислота не оказывала влияния на митотический индекс. Таким образом, ИУК, БС и  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  можно использовать для усиления процессов роста корней, что в конечном итоге приведет к повышению их поглотительной способности и как следствие к увеличению продуктивности растений.

### **Список литературы**

1. **Гудков, И. Н.** Кинетика клеточного цикла на начальных фазах развития растения / И. Н. Гудков // Клеточный цикл растений в онтогенезе : сб. науч. тр. – Киев : Наукова думка, 1988. – С. 5–16.
2. **Иванов, В. Б.** Клеточные основы роста растений / В. Б. Иванов. – М. : Наука, 1974. – 202 с.
3. **Иванов, В. Б.** Развитие идей Д. А. Сабина в исследованиях роста и морфогенеза корней / В. Б. Иванов // Физиология растений. – 1989. – Т. 36, № 5. – С. 871–879.
4. **Алексеева, Е. С.** Генетика, селекция и семеноводство гречихи / Е. С. Алексеева, З. П. Паушева. – Киев : Выща шк., 1988. – 2008 с.
5. **Паушева, З. П.** Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – М. : Колос, 1974. – С. 69–99.
6. **Шмидт, В. М.** Математические методы в ботанике : учеб. пособие / В. М. Шмидт. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1984. – 288 с.
7. **Kalinich, J. F.** Relationship 1985 of nucleic acid metabolism to brassinolide-induced responses in beans / J. F. Kalinich, N. B. Mandava, J. A. Todhunter // J. Plant Physiol. – Vol. 120, № 3. – P. 207–221.
8. **Liu, P. B. W.** Action of gibberellic acid on cell proliferation in the subapical shoot meristem of watermelon seedlings / P. B. W. Liu, J. B. Loy // Amer. J. Bot. – 1976. – Vol. 63, № 5. – P. 700–704.

9. **Гамбург, К. З.** Физиология действия гиббереллина на вегетативный рост растений / К. З. Гамбург // Регуляторы роста и рост растений. – М. : Наука, 1964. – С. 3–52.
10. **Полевой, В. В.** Фитогормоны / В. В. Полевой. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1982. – 248 с.
11. **Солдатов, С. А.** Влияние селената натрия на рост, развитие и проявление пола у двудомных растений конопли: *Cannabis sativa* L. : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Солдатов С. А. – М. : Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, 2005. – 28 с.
12. **Вихрева, В. А.** Влияние селена на рост, развитие и адаптивный потенциал козлятника восточного (*Galera orientalis*) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Вихрева В. А. – М. : Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, 2001. – 28 с.
13. **Блинохватов, А. Ф.** Селен в биосфере / А. Ф. Блинохватов, В. А. Вихрева, В. Н. Хрянин [и др.]. – Пенза : РИО ПГСХА, 2001. – 324 с.

### References

1. Gudkov I. N. *Kletochnyy tsikl rasteniy v ontogeneze: sb. nauch. tr.* [Cell cycle of plants in ontogenesis: collected papers]. Kiev: Naukova dumka, 1988, pp. 5–16.
2. Ivanov V. B. *Kletochnye osnovy rosta rasteniy* [Cell basis of plant growth]. Moscow: Nauka, 1974, 202 p.
3. Ivanov V. B. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. 1989, vol. 36, no. 5, pp. 871–879.
4. Alekseeva E. S., Pausheva Z. P. *Genetika, selektsiya i semenovodstvo grechikhi* [Genetics, selection and seed farming of buckwheat]. Kiev: Vyshcha shk., 1988, 2008 p.
5. Pausheva Z. P. *Praktikum po tsitologii rasteniy* [Tutorial on plant cytology]. Moscow: Kolos, 1974, pp. 69–99.
6. Shmidt V. M. *Matematicheskie metody v botanike: ucheb. posobie* [Mathematical methods in botany: tutorial]. Leningrad: Izd-vo LGU, 1984, 288 p.
7. Kalinich J. F., Mandava N. B., Todhunter J. A. *J. Plant Physiol.* 1985, vol. 120, no. 3, pp. 207–221.
8. Liu P. B. W., Loy J. B. *Amer. J. Bot.* 1976, vol. 63, no. 5, pp. 700–704.
9. Gamburg K. Z. *Regulatory rosta i rost rasteniy* [Plants growth regulators and growth]. Moscow: Nauka, 1964, pp. 3–52.
10. Polevoy V. V. *Fitogormony* [Phytohormones]. Leningrad: Izd-vo LGU, 1982, 248 p.
11. Soldatov S. A. *Vliyanie selenata natriya na rost, razvitie i proyavlenie pola u dvudomnykh rasteniy konopli: Cannabis sativa L.: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Impact of sodium selenite on growth, development and sex expression of dioecious plants of hemp *Cannabis sativa* L.: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: Mosk. s.-kh. akad. im. K. A. Timiryazeva, 2005, 28 p.
12. Vikhreva V. A. *Vliyanie selena na rost, razvitie i adaptivnyy potentsial kozlyatnika vostochnogo (Galera orientalis): avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Impact of selenium on growth, development and adaptive potential of eastern Galega (*Galera orientalis*): author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: Mosk. s.-kh. akad. im. K. A. Timiryazeva, 2001, 28 p.
13. Blinokhvatov A. F., Vikhreva V. A., Khryanin V. N. et al. *Selen v biosfere* [Selenium in biosphere]. Penza: RIO PGSKhA, 2001, 324 s.

**Каташов Денис Александрович**

аспирант, Пензенский  
государственный университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: earendil73@rambler.ru

**Katashov Denis Aleksandrovich**

Postgraduate student,  
Penza State University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

**Хрянин Виктор Николаевич**

доктор биологических наук, профессор,  
кафедра ботаники, физиологии  
и биохимии растений, Пензенский  
государственный университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: viktor.khryanin@gmail.com

**Khryanin Viktor Nikolaevich**

Doctor of biological sciences, professor,  
sub-department of botany, physiology  
and biochemistry, Penza State University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

---

УДК 581.14

**Каташов, Д. А.**

**Влияние фитогормонов и селената натрия на митотическую актив-  
ность апикальных меристем корней проростков рапса (*Brassica napus*) /**  
Д. А. Каташов, В. Н. Хрянин // Известия высших учебных заведений.  
Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 49–54.

Д. А. Кулакова

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗРАСТАНИЯ *CORYDALIS MARSCHALLIANA* PERS. В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Особенности экотопа влияют на рост и развитие особи и определяют возможность существования вида в фитоценозе. В работе проанализировано влияние экологических условий на биометрические характеристики и популяционную структуру *Corydalis marschalliana* Pers. в условиях Пензенской области. *Материалы и методы.* На основе собственных геоботанических описаний в двух памятниках природы (ПП) Пензенской области: «Арбековский лес» и «Шнаевская ясеневая дубрава» – были оценены экологические условия мест произрастания хохлатки Маршалла и современное состояние популяций этого редкого для области вида. *Результаты.* В пунктах исследования в целом созданы благоприятные условия для произрастания растений хохлатки Маршалла. Во всех изученных сообществах популяции хохлатки Маршалла полночленные, нормальные. Анализ экологических условий по основным факторам среды показал, что в ПП «Шнаевская ясеневая дубрава» формируются более богатые по азоту и солевому режиму, менее кислые почвы, в условиях большего увлажнения и освещенности, чем в условиях ПП «Арбековский лес», что влияет на биоморфологические особенности хохлатки и плотность ее популяции. *Выводы.* Наиболее благоприятные условия для роста и развития *Corydalis marschalliana* складываются в условиях ПП «Шнаевская ясеневая дубрава»: здесь формируются наиболее крупные растения с многоцветковыми соцветиями. В условиях «Шнаевской ясеневой дубравы» отмечена самая многочисленная полночленная популяция редкого для области вида.

**Ключевые слова:** *Corydalis marschalliana*, экотоп, популяция.

D. A. Kulakova

## THE ECOLOGICAL PECULIARITIES OF *CORYDALIS* *MARSCHALLIANA* PERS. GROWTH IN PENZA REGION

**Abstract.** *Background.* The ecotope peculiarities affect the specimen growth and development and determine the existence possibility of the species in phytocenosis. The paper analyzes the influence of environmental conditions on the biometric characteristics and population structure of *Corydalis marschalliana* Pers. in Penza region conditions. *Materials and methods.* Based on our own geobotanical description in two nature monuments (NM) of Penza region, the “Arberkovsky forest” and the “Shnaevskaya ashen and oak forest” the environmental conditions of *Corydalis marschalliana* habitat and current status of the species population which is rare for the territory have been evaluated. *Results.* In the areas under study the conditions for *Corydalis marschalliana* growth are generally favourable. In every examined community the *Corydalis marschalliana* populations are full-member and normal. The analysis of environmental conditions along the main environmental factors showed that in the NM “Shnaevskaya ashen and oak forest” the soil is less acidic and richer in nitrogen and salt regime, there is greater humidification and illuminance than in the NM “Arbekovsky forest” which affects the biomorphological peculiarities of *Corydalis marschalliana* and the density of its population. *Conclusions.* The most favorable conditions for the growth and development of *Corydalis marschalliana*

develop in the “Shnaevskaya ashen and oak forest”: here the largest plants with multi-flowered inflorescences are formed. In the “Shnaevskaya ashen and oak forest” the largest full-member population of the species rare for the territory has been registered.

**Key words:** *Corydalis marschalliana*, ecotope, population.

### Введение

Род Хохлатка – самый большой род подсемейства дымянковые. Число видов хохлатки достигает 585, и они хорошо распространены в умеренных регионах всего Северного полушария. Благодаря содержанию в клубнях алколоидов хохлатка является ценным лекарственным растением. Хохлатка Маршалла – многолетнее травянистое растение высотой 15–30 см (рис. 1). Клубень небольшой, округлый или неправильный, стебель простой, прямой, в верхней части раздвоенный. Листья на недлинных черешках, пластинка широкая, дважды тройчатая. Кисти на длинном цветоносе, довольно длинные, цилиндрические. Прицветники цельные, в 2–3 раза длиннее цветоножек. Чашелистики 0,7 мм длиной, пленчатые, зубчатые, венчики 22–25 мм длиной желтые, иногда наружные лепестки розовые. Шпора прямая или слегка согнутая, довольно широкая, тупая. Коробочки отклоненные, или повислые, 15–20 мм длиной, 4–3 мм шириной, семена черные, крупные, около 3 мм длиной. Цветет в апреле–мае. Растение распространено в Украине (Днепро-вский район), в Крыму, в европейской части России (в Верхне-Волжском, Верхне-Донском, Причерноморском, Нижне-Донском районах), в Молдове, на Кавказе. Растет в лесах и кустарниках от равнин до среднегорного пояса. Растение декоративное. По реке Волге и ее притокам подлежит особой охране наряду с хохлаткой промежуточной (*C. intermedia*) [1].



Рис. 1. Хохлатка Маршалла

### 1. Материалы и методика

Хохлатка Маршалла – *Corydalis marschalliana* Pers. – внесена в Красную книгу Пензенской области (2002) со статусом 3. Многолетнее травянистое олигокарпическое клубневое растение. В Пензенской области вид произрастает вблизи восточной границы ареала, встречается в шести районах Пензенской области, по широколиственным лесам на богатых перегноем известковых почвах, эумезофит, декоративное растение. Медонос.

Сбор материала осуществлялся в течение 2010 г. в г. Пензе на территории памятника природы «Арбековский лес» и на территории памятника природы «Шнаевская ясеневая дубрава» Пензенского района. На каждом участке было заложено по 10 пробных площадей (размером 10 × 10 м), проведены полные геоботанические описания.

Для выявления флористического состава на каждой пробной площади были сделаны геоботанические описания по методике Браун – Бланке [2] в 10–20-кратной повторности.

Для каждого растения отмечали возрастное состояние, происхождение (семенное или вегетативное), высоту, принадлежность к ярусу, жизненность (чаще всего по трехбалльной шкале [3]; при детальном исследовании отмечали четыре уровня жизненности: нормальный, пониженный, низкий и сублетальный). Названия сосудистых растений приведены по С. К. Черепанову (1995).

Выделение онтогенетических состояний *C. marschalliana* проводили с использованием данных литературы [4] и собственных наблюдений.

Для определения онтогенетической структуры для каждого растения хохлатки Маршалла отмечали возрастное состояние, а на модельных особях (по 20 особей в каждом возрастном состоянии) – следующие биометрические показатели: длину и ширину листовой пластинки, высоту побега, высоту и диаметр клубня, число генеративных побегов, число розеточных ассимилирующих листьев.

Для оценки основных экологических параметров местообитаний флористические описания были обработаны по экологическим шкалам Д. Н. Цыганова (1983) с использованием специальной компьютерной программы [5].

## 2. Характеристика природных условий и растительности пунктов исследования

Пензенская область принадлежит к числу «внутренних» областей средней полосы европейской части и расположена на Восточно-Европейской, или Русской равнине. В геоморфологическом отношении Пензенская область входит в состав Приволжской возвышенности, которая при движении с востока на запад постепенно понижается. Площадь области сравнительно невелика и составляет 43,3 тыс. м<sup>2</sup> [6]. Климат Пензенской области находится под сильным влиянием атлантических воздушных масс [6, 7] и характеризуется как резко континентальный [8]. Характерными общими закономерностями климата являются: повышение температур в теплую часть года с севера на юг, усиление морозности зимы с запада на восток, уменьшение количества осадков и возрастание засушливости с северо-запада области к юго-востоку. Эти закономерности находят отражение в характере почвенного и растительного покрова. Однако различия климата в пределах области сравнительно малы, так как невелика ее территория.

По характеру гидрологических условий Пензенская область – сильно засушливая [9]. По временам года периоды ненастий (затяжных выпадений осадков), различной продолжительности – от 1 до 15 дней и более, преобладают осенью и зимой, а минимум их падает на лето. Ветровой режим в июле характеризуется преобладанием северо-западных и северных ветров; а в январе – южных и юго-восточных [10].

Согласно агроклиматическому районированию область относится к центральному умеренно теплому району [10].

Согласно схеме лесорастительного районирования СССР (Курнаев, 1973) лесные массивы Пензенской области входят в состав центрального округа Скандинавско-Русской провинции Евразийской области лесов умеренного пояса зоны широколиственных лесов.

Исследования проводились в двух пунктах: ПП «Арбековский лес» и «Шнаевская ясеневая дубрава».

Как памятник природы «Шнаевская ясеневая дубрава» существует с 1995 г. Она расположена в 30 км восточнее г. Пензы, близ ст. Шнаево.

Массив расположен на высокоприподнятом (около 272 м над у. м.) участке водораздела плато. За счет небольшого уклона в южном направлении почвы хорошо дренированы. Согласно агроклиматическому районированию «Шнаевская ясеневая дубрава» относится к северо-восточному прохладному району, с суммой температур (выше 10°) – 2200–2300 °С [7, 10]. Средняя температура января –13,0°, июля +18,4°, годовая +4,0° [9]. Число дней с положительными температурами менее 208 дней [10]. Количество осадков за вегетативный период составляет 240–260 мм. Продолжительность безморозного периода – 120 дней (Агроклиматические ресурсы ..., 1972).

Средние количества осадков, выпавших за год, составляют слой 600–650 мм. Гидротермический коэффициент в «Шнаевской ясеневой дубраве» равен 1,0 [7, 10].

Почвы светло-серые лесные легкосуглинистые на покровном суглинке.

Сообщество дубо-ясенник осоково-снытевый, одновозрастный. Возраст старых деревьев составляет 80–100 лет. 1-й и 2-й ярусы состоят из дуба черешчатого, ясеня обыкновенного, липы сердцевидной, осины, вяза голого. Из кустарников обычны лещина обыкновенная, бересклет бородавчатый. В травяном покрове присутствуют сныть обыкновенная, осока волосистая, будра плющевидная, звездчатка ланцетолистная.

Сплошные рубки привели к формированию одновозрастных сообществ с нарушенной мозаичной структурой. Подобная структура не обеспечивает необходимого радиационного режима для нормального развития светолюбивого подроста растений. На таких участках светолюбивые виды деревьев – дуб (в результате искусственной посадки), ясень – присутствуют только в 1-м ярусе. Нижние ярусы являются маловидовыми и состоят из клена остролистного и липы сердцевидной. Значительные изменения в структуру этих сообществ привнесли браконьерные рубки отдельных (реже группы) деревьев дуба и ясеня в возрасте 70–75 лет, иногда клена и липы.

«Арбековский лес» – ботанический памятник природы регионального значения. Общая площадь памятника 281 га, находится близ северо-западной окраины г. Пензы.

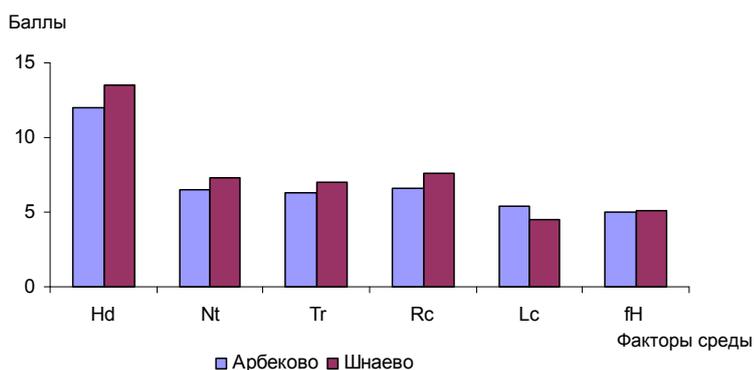
Памятник природы расположен на территории Пензенского района в пределах Рамзайского лесничества, занимает участок водораздельного плато и глубоко врезающую в него лесную балку с выходами грунтовых вод.

На территории памятника охраняются участок широколиственного леса и редкие в области виды растений: ветреничка алтайская, хохлатка Маршалла, зубянка пятилистная, занесенные в Красную книгу Пензенской области. Имеются участки семенного дуба 2-го класса бонитета 80-летнего возраста и ольхи 100-летнего возраста. Памятник имеет природоохранное, рекреационное и эстетическое значение.

Рельеф охраняемой территории сильно изрезан балками и оврагами, имеется небольшая возвышенность – останец, получивший название «Двойные горы». Лесные сообщества в зависимости от положения в рельефе меняют свой состав: на повышенных элементах и склонах – дубняки осоково-снытевые с участием липы сердцевидной, клена остролистного и ильма горного, на пониженных – ольшаники и осинники разнотравные.

Большая часть территории занята липово-дубовым лесом в возрасте 120–150 лет. Отдельные экземпляры дуба достигают высоты 23–27 м с диаметром ствола до 60 см. Лесной массив в ныне существующем виде представляет собой старые (чаще – около 100 лет, реже – 150–180 лет) культуры дуба черешчатого по вырубленной ранее лесной площади. Однако даже после рубок в нем сохранились редкие для области виды лесных трав главным образом в разреженной части насаждения и по опушкам, в числе которых зубянка пятилистная, хохлатка Маршалла, тюльпан Биберштейна, ветреничка алтайская. «Арбековский лес» – единственное в области местообитание ветренички алтайской.

Модельные сообщества были оценены по основным экологическим факторам по шкалам Н. Д. Цыганова (1983) в электронной версии. Анализ экологических характеристик местообитаний показал, что сообщества «Шнаевской ясеновой дубравы» формируются на более богатых по азоту и солевому режиму, менее кислых почвах, в условиях большего увлажнения и освещенности (рис. 2).



Факторы среды: Hd – увлажнение почвы; Nt – богатство почвы азотом;  
Tr – солевой режим почвы; Rc – кислотность почвы;  
Lc – уровень освещенности; fH – переменность увлажнения

Рис. 2. Средние балловые экологические оценки пунктов исследования

### 3. Биоморфологические особенности и возрастная структура популяций *Corydalis marschalliana* Pers. в пунктах исследования

Анализ биометрических характеристик модельных особей хохлатки показал, что растения в «Шнаевской ясеновой дубраве» имеют самые крупные размеры: в среднем на 7 см превышают по высоте генеративные побеги растений «Арбековского леса», на 1–1,5 длину и ширину листьев (табл. 1), имеют наибольшую высоту и ширину клубней. В этих условиях на поверхности клубня образуется в 1,5–2 раза больше придаточных корней, чем у растений в Арбеково. Очевидно, это связано с механическими характеристиками почвы и степенью ее увлажнения: более плотная почва в «Арбековском лесу» препятствует развитию большего количества придаточных корней.

Таблица 1  
Некоторые биометрические показатели *Corydalis marschalliana* Pers.

Признаки	pl		j		im		v		g <sub>1</sub>		g <sub>2</sub>		g <sub>3</sub>		s	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Число розеточных ассимилирующих листьев	-	-	1	1	1-2	1	2	2	2	1	2	2	1-2	1	1	-
Число генеративных побегов	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2-3	1-2	1	1	-	-
Высота генеративного побега, см	-	-	-	-	-	-	-	-	33,2 ± 3,5	26,77 ± 2,9	35,5-39 ± 2,1	28 ± 3,4	37 ± 2,6	30,12 ± 1,7	-	-
Ширина пластинки листа, см	1 ± 0,03	0,8 ± 0,01	2,5 ± 0,02	2 ± 0,03	6,5 ± 0,3	5,5 ± 0,2	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,3	6,4 ± 1,8	4,61 ± 1,54	4-4,5 ± 0,6	3,5 ± 0,2	6,9 ± 3,1	5,4 ± 1,5	3,1	-
Длина пластинки листа, см	0,9 ± 0,05	0,7 ± 0,02	2,0 ± 0,03	1,5 ± 0,02	5,3 ± 0,1	4,5 ± 0,5	2,7 ± 0,2	3,5 ± 0,3	5,4 ± 1,9	4,64 ± 1,55	5 ± 0,3	4 ± 0,4	5,87 ± 2,43	4,2 ± 2,6	3,25	-
Высота клубня, см	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,5 ± 0,01	0,4 ± 0,01	2 ± 0,1	1,5 ± 0,01	1,5 ± 0,3	2,5 ± 0,2	2,1 ± 0,94	1,66 ± 1,33	3-3,5 ± 0,2	2,8 ± 0,2	3,5 ± 1,35	2,25 ± 1,6	0,9	-
Ширина клубня, см	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,4 ± 0,02	0,35 ± 0,01	2 ± 0,1	1,6 ± 0,2	2 ± 0,1	2 ± 0,3	2,3 ± 0,83	1,86 ± 1,03	3-3,5 ± 0,3	2,5 ± 0,1	3,4 ± 1,33	2,68 ± 1,49	0,5	-
Число цветков в соцветии	-	-	-	-	-	-	-	-	11-15	6-13	16-18	11-13	16-18	16	-	-

Число цветков в соцветии в «Шнаевской ясеневой дубраве» на восемь цветков больше, чем в Арбеково.

Таким образом, исходя из полученных биометрических характеристик растений хохлатки Маршалла установлено, что наиболее благоприятны для роста и развития условия «Шнаевской ясеневой дубравы»: здесь формируются наиболее крупные растения с многоцветковыми соцветиями.

**4. Численность и онтогенетические спектры популяций *Corydalis marschalliana* Pers. в пунктах исследования**

Во всех изученных сообществах популяции хохлатки Маршалла полночленные, нормальные (табл. 2, рис. 3). В условиях «Шнаевской ясеневой дубравы» отмечена самая большая плотность особей хохлатки на всех этапах онтогенеза, как в прегенеративных возрастных состояниях, так и среди половозрелых особей. При этом общее число растений в «Шнаевской ясеневой дубраве» в 2,5 раза выше, чем в условиях «Арбековского леса». Только в условиях «Шнаевской ясеневой дубравы» в популяции отмечены особи сенильного возрастного состояния.

Таблица 2

Суммарные онтогенетические спектры популяций *Corydalis marschalliana* Pers. в пунктах исследования

Пункт исследования	Возрастные состояния									Всего особей	
	pl	j	im	v	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	s	(pl + j + im + v)		(G + s)
Шнаево	176	134	110	15	12	24	294	1	435	331	766
Арбеково	123	37	94	14	7	3	46	–	268	56	324

Общее число растений в Шнаево в 3 раза выше, чем в условиях «Арбековского леса». Соотношение взрослых фракций популяции в «Шнаевской ясеневой дубраве» в 6 раз выше, чем в «Арбековском лесу», а соотношение в численности молодых растений (j + im + v) в 1,5 раза выше в условиях «Шнаевской ясеневой дубравы», нежели в «Арбековском лесу».

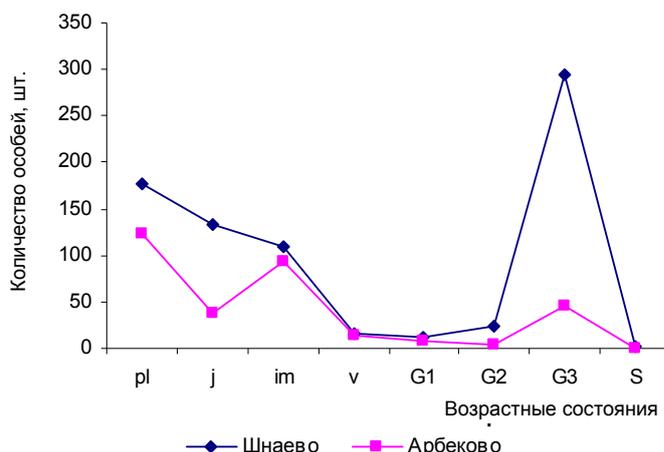


Рис. 3. Возрастные спектры популяций *Corydalis marschalliana* Pers. в пунктах исследования

В составе популяций хохлатки преобладают растения прегенеративных возрастных состояний. Генеративная часть популяции содержит дополнительный максимум приуроченных к старым генеративным растениям. Это связано с наибольшей продолжительностью этого возрастного состояния и с наименьшей элиминацией в указанной группе особей.

#### **Выводы**

В пунктах исследования созданы благоприятные условия для произрастания растений хохлатки Маршалла.

В сообществах памятника природы «Шнаевская ясеневая дубрава» формируются более богатые, близкие к нейтральным почвы, с высокими баллами содержания азота и общего солевого режима.

Анализ экологических приуроченностей растений *Corydalis marschalliana* Pers. показал, что хохлатка в экологическом плане – вид требовательный к богатству почв, хорошей освещенности, не выдерживает уплотнения почвы.

Наиболее благоприятными для роста и развития являются условия «Шнаевской ясеневой дубравы»: здесь формируются наиболее крупные растения с многоцветковыми соцветиями.

В условиях «Шнаевской ясеневой дубравы» отмечена самая многочисленная полночленная популяция вида.

#### **Список литературы**

1. URL: <http://zdravyshka.ru/Lechenie-travami/Lekarstvennye-rasteniya/xoxlatka-marshalla.html>
2. **Миркин, Б. М.** Современная наука о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
3. **Воронцова, Л. И.** Выделение трех уровней жизненного состояния в онтогенезе особей и применение этого метода для характеристики ценопопуляции / Л. И. Воронцова, Л. Е. Гатцук, А. А. Чистякова // Подходы к изучению ценопопуляций и консорций. – М. : МГПИ, 1987. – С. 7–24.
4. **Смирнова, О. В.** *Corydalis marschalliana* Pers. – пролеска сибирская / О. В. Смирнова, Н. А. Торопова // Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений: Эфемероиды. – М. : МГПИ, 1987. – С. 35–41.
5. **Заугольнова, Л. Б.** Информационно-аналитическая система для оценки сукцессионного состояния лесных сообществ : препринт / Л. Б. Заугольнова, Л. Г. Ханина, А. С. Комаров [и др.]. – Пушино : ПНЦ РАН, 1995.
6. **Курицын, И. И.** География Пензенской области / И. И. Курицын, Н. А. Марденский. – Саратов : Приволж. кн. изд-во. Пенз. отд-ние, 1991. – 96 с.
7. **Жаков, С. М.** Климат / С. М. Жаков // Природа Пензенской области. – Пенза : Приволж. кн. изд-во, 1970. – С. 47–82.
8. **Борисов, А. А.** Климаты СССР. В прошлом, настоящем и будущем / А. А. Борисов. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1975. – 432 с.
9. **Дорогов, А. И.** Краткий физико-географический очерк. Климат. Почвы / А. И. Дорогов // Природа Пензенской области. – Пенза, 1955. – С. 5–12; 73–118; 154–250.
10. Атлас Пензенской области. – М., 1982. – 33 с.

#### **References**

1. Available at: <http://zdravyshka.ru/Lechenie-travami/Lekarstvennye-rasteniya/xoxlatka-marshalla.html>

2. Mirkin B. M., Naumova L. G., Solomeshch A. I. *Sovremennaya nauka o rastitel'nosti* [Modern vegetation science]. Moscow: Logos, 2001, 264 p.
3. Vorontsova L. I., Gattsuk L. E., Chistyakova A. A. *Podkhody k izucheniyu tsenopopulyatsiy i konsortsiy* [Approaches to coenopopulations and consortia study]. Moscow: MGPI, 1987, pp. 7–24.
4. Smirnova O. V., Toropova N. A. *Diagnozy i klyuchi vozrastnykh sostoyaniy lesnykh rasteniy: Efemeroidy* [Diagnoses and keys of age-specific conditions of forest plants: Ephemerooids]. Moscow: MGPI, 1987, pp. 35–41.
5. Zaugol'nova L. B., Khanina L. G., Komarov A. S. et al. *Informatsionno-analiticheskaya sistema dlya otsenki suksessionnogo sostoyaniya lesnykh soobshchestv: preprint* [Information analytical system of forest associations' seral condition evaluation: preprint]. Pushchino: PNTs RAN, 1995.
6. Kuritsyn I. I., Mardenskiy N. A. *Geografiya Penzenskoy oblasti* [Geography of Penza region]. Saratov: Privolzh. kn. izd-vo. Penz. otd-nie, 1991, 96 p.
7. Zhakov S. M. *Priroda Penzenskoy oblasti* [Nature of Penza region]. Penza: Privolzh. kn. izd-vo, 1970, pp. 47–82.
8. Borisov A. A. *Klimaty SSSR. V proshlom, nastoyashchem i budushchem* [USSR climates. Past, present and future]. Leningrad: Izd-vo LGU, 1975, 432 p.
9. Dorogov A. I. *Priroda Penzenskoy oblasti* [Nature of Penza region]. Penza, 1955, pp. 5–12; 73–118; 154–250.
10. *Atlas Penzenskoy oblasti* [Atlas of Penza region]. Moscow, 1982, 33 p.

---

**Кулакова Дарья Александровна**  
магистрант, Пензенский  
государственный университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

**Kulakova Dar'ya Aleksandrovna**  
Master degree student,  
Penza State University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

E-mail: DA.KULAKOVA@MAIL.RU

---

УДК 581

**Кулакова, Д. А.**

**Экологические особенности произрастания *Corydalis marschalliana* Pers. в Пензенской области / Д. А. Кулакова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 55–63.**

## АНТИГЕЛЬМИНТНЫЕ ДЕЙСТВИЯ РАСТЕНИЙ И ИХ СМЕСИ С ХИМИЧЕСКИМ ПРЕПАРАТОМ

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Против гельминтов в основном применяются химические препараты. Эти препараты действуют не только на гельминтов, но и на организм хозяина. Цель наших исследований – выяснить эффективность полыни и гармалы и их смеси с альбеном. *Материалы и методы.* У подопытных и контрольных животных до кормления взяли фекалии и гельминтовоскопическим методом уточняли их степень заражения стронгилятами. Овцам первой группы в течение двух дней скармливали смеси «полынь – гармала» каждый день в дозе 200 г на голову. Животным второй группы всего один день скармливали смеси «альбен – полынь» (0,5 части таблетки альбена, 200 г полыни). Животные третьей группы поедали смеси «альбен – гармала». Животные четвертой, контрольной, группы не получили антигельминтных средств. После опыта убили подопытных и контрольных животных, вскрыли пищеварительную систему, по найденным половозрелым гельминтам уточняли эффективность смесей. *Результаты.* Результаты опытов указывают, что интенсивная эффективность (ИЭ) смеси «полынь – гармала» против гемонхусов, стронгилятов и трихоцефалюсов достигла соответственно 85,2, 84,1 и 47,6 %. ИЭ смеси «альбен – полынь» против гемонхусов, стронгилятов и трихоцефалюсов была соответственно 90,8, 90,5 и 69,2 %. У животных, получавших смеси «альбен – гармала», ИЭ у гемонхусов достигла 91,8 %, у стронгилятозов – 91,7 %, у трихоцефалезов – 72,4 %. *Выводы.* В качестве антигельминтных веществ в основном применяются химические препараты. Массовое применение растительных антигельминтиков устраняет загрязнение внешней среды от химических препаратов. Растения действуют комплексно на организм животных и быстро выделяются, поэтому кумулятивные свойства растений ограничиваются. Результаты исследований показывают, что смеси «полынь – гармала», «альбен – полынь» и «альбен – гармала» обладают высокой антигельминтной эффективностью против стронгилятов пищеварительного тракта овец. В течение опыта у подопытных и контрольных животных не наблюдали токсических признаков. Это доказывает, что оба растения вместе и их смеси с альбеном можно применить против нематод.

**Ключевые слова:** полынь, гармала, антигельминтная эффективность, стронгиляты, гемонхусы, трихоцефалюсы.

S. G. ogly Maharramov

## ANTHELMINTIC EFFECT OF PLANTS AND THEIR MIXTURES WITH CHEMICAL AGENT

**Abstract.** *Background.* Helminths are generally treated with chemicals. These agents influence not only helminths, but also the host organism. The aim of the paper is to find out the effectiveness of wormseed and peganum and their mixtures with albena. *Materials and methods.* The faeces of experimental and control animals were taken before feeding and the degree of their contamination with palisade worms was identified by the helminthovoscopic method. For two days the first group of sheep was fed with the mixture “wormseed – peganum” every day dosed as 200 g per head. The animals of the second group were fed with a mixture “albena – wormseed” (half a tablet of albena, 200 g of wormseed) for one day only. The ani-

mals of the third group ate a mixture of “albena – peganum”. The animals belonging to the fourth, control, group did not receive anthelmintics. After the test the experimental and control animals were slaughtered, their digestive systems were dissected, and the effectiveness of the mixtures was defined according to the found eugamic helminths. *Results.* The experimental results indicate that intensive effectiveness (IE) of the mixture “wormseed – peganum” against barber’s pole worms, palisade worms and trichocephaloses has reached 85,2, 84,1 and 47,6 % respectively. The IE of the mixture “albena – wormseed” against barber’s pole worms, palisade worms and trichocephaloses is 90,8, 90,5 and 69,2 % respectively. With the animals treated with a mixture of “albena – peganum” the IE against barber’s pole worms reached 91,8 %, against palisade worms – 91,7 %, against trichocephaloses – 72,4 %. *Conclusions.* It is chemicals that are usually used as anthelmintic substances. The massive use of anthelmintic plants eliminates environmental pollution with chemicals. Plants have a complex effect on the animal organism and are quickly excreted, so the cumulative properties of plants are limited. The research results show that the mixtures “wormseed – peganum”, “albena – wormseed” and “albena – peganum” have high anthelmintic effectiveness against trichocephaloses in the sheep digestive tract. During the experiment toxicity symptoms were not observed either in the experimental or control animals. This fact demonstrates that both plants and their mixtures with albena can be used against nematodes.

**Key words:** wormseed, peganum, antihelminthic effectiveness, palisade worms, barber’s pole worms, trichocephaloses.

Для борьбы с нематодами желудочно-кишечного тракта домашних животных традиционно применяются химические препараты. Однако эти препараты действуют не только на гельминтов, но и на весь организм хозяина. Влияние химических препаратов на животных иногда клинически не проявляется, но они накапливаются в организме, проявляя кумулятивное действие.

Лекарственные растения действуют комплексно и быстро выводятся из организма [1]. В фитотерапии домашних животных в последнее время активно используются антигельминтные растения, в том числе действующие против стронгилезов. Многие лекарственные растения потребляются овцами очень легко. Поэтому выпас на соответствующих пастбищах естественно зараженных нематодами овец освобождает животных от гельминтов без затраты труда и денег. Однако применение лекарственных растений, которые не поедаются овцами, затруднено. Приготовление форм препаратов из таких растений, обладающих антигельминтными свойствами, особенно актуально. В Азербайджане и других странах в этом направлении в последнее время начаты активные исследования [2–4].

Среди лекарственных растений сильным антигельминтным действием обладают полынь и гармала. Многолетнее травянистое растение полынь (*Artemisia absinthium*) распространена на склонах гор от низменности до субальпийского пояса [5]. Эфирное масло полыни обладает бактерицидными, бактериостатическими, дезодорирующими и антипаразитарными свойствами. В ветеринарии полынь используется против гельминтов у овец и других животных. Полынь съедается овцами в небольшом количестве. В больших дозах растение оказывает отрицательное действие на организм овец [6, 7]. Многолетнее травянистое растение «гармала обыкновенная» (*Peganum harmala*) распространена в низменных полупустынных районах, на сухих пустырях, на песках и сорных местах [5]. Гармин, выделенный из гармалы, оказывает возбуждающее действие на центральную нервную систему [6].

Результаты предыдущих исследований доказали, что в условиях и *in vitro*, и *in vivo* каждый из видов растений по отдельности оказывает антигельминтное действие [8, 9]. При введении терапевтической, трех- и пятикратно увеличенной терапевтической дозы смеси «полынь – гармала» в общем клиническом состоянии овец существенных изменений не происходило [10]. При долговременном введении мышам полыни и гармалы кумулятивного действия не было обнаружено, напротив, выявилось привыкание животных к растениям [1]. Целью наших исследований было выявление совместного антигельминтного действия полыни и гармалы.

### **Материал и методика**

До опыта у всех исследованных овец брали пробы фекалий и микроскопическим методом уточняли степень заражения их нематодами [11]. При определении экспериментальных групп животных основывались на степени заражения их нематодами, упитанности и возрасте.

Подопытных животных разделили на четыре группы по шесть голов в каждой. Животным первой группы в течение двух дней скармливали смесь, состоящую из равных количеств полыни и гармалы ежедневно в дозе 200 г на голову. Животные второй группы в течение одного дня потребляли смесь «альбен – полынь». Смесь состояла из 0,5 таблетки альбена и 200 г полыни. Животные третьей группы поедали в течение одного дня смесь, состоящую из 0,5 таблетки альбена и 200 г гармалы. Животных четвертой, контрольной, группы кормили обычным кормом. В ходе опыта проводили наблюдения за реакцией животных на корм и внешние раздражения.

Через пять дней после дачи препаратов исследовали пищеварительную систему животных на предмет зараженности гельминтами. Половозрелых паразитических червей фиксировали формалином.

### **Результаты и обсуждение**

При исследовании пищеварительной системы контрольных животных, которые не получали антигельминтных веществ, в сычуге было обнаружено в среднем 649,2 экз. возбудителей гемонхоза, в кишечнике – 131,7 экз. возбудителей стронгилятоза и 31,5 экз. возбудителей трихоцефалеза.

Среди животных первой группы, получавших смесь полыни и гармалы, у трех не были обнаружены возбудители гемонхоза и стронгилятоза, у двух – трихоцефалеза (экстенсивная эффективность (ЭЭ) смеси «полынь – гармала» против возбудителей гемонхоза и стронгилятоза – 50 %, а трихоцефалеза – 33,3 %). У остальных трех животных было обнаружено в среднем 96,3 экз. возбудителей гемонхоза, 21 экз. возбудителей стронгилятоза, у четырех – 16,5 экз. возбудителей трихоцефалеза. Таким образом, интенсивная эффективность препарата против нематод достигала соответственно 85,2, 84,1 и 47,6 %.

При скармливании овцам смеси «альбен – полынь» у четырех из шести животных не были обнаружены возбудители гемонхоза и стронгилятоза, а у трех – трихоцефалеза. У остальных двух животных было обнаружено в среднем 59,5 экз. возбудителей гемонхоза, 12,5 экз. возбудителей стронгилятоза, у трех – 9,7 экз. возбудителей трихоцефалеза. ЭЭ смеси против возбудителей гемонхоза и стронгилятоза достигла 66,7 %, возбудителей трихоцефалеза –

50 %. ИЭ смеси против возбудителей гемонхоза, стронгилятоза и трихоцефалеза составила соответственно 90,8, 90,5 и 69,2 %.

У животных, получавших смеси альбены с гармалой, также проявилась высокая антигельминтная эффективность препарата. Пять овец освободились от возбудителей гемонхоза и стронгилятоза, а три – от возбудителей трихоцефалеза. ЭЭ препарата против возбудителей гемонхоза и стронгилятоза была 83,3 %, против возбудителей трихоцефалеза – 50 %. У одного животного было обнаружено 53 экз. возбудителей гемонхоза, 11 экз. возбудителей стронгилятоза, у трех животных – в среднем 8,7 экз. возбудителей трихоцефалеза. ИЭ смеси достигла 91,8 % для возбудителей гемонхоза, 91,7 % – стронгилятоза, 72,4 % – трихоцефалеза.

Результаты проведенных нами исследований показывают, что смеси «полынь – гармала», «альбен – полынь» и «альбен – гармала» обладают высокой антигельминтной эффективностью против нематод желудочно-кишечного тракта овец. В ходе проведения работ подопытных и контрольных животных исследовали клиническим методом, чтобы выяснить возможные токсические действия смесей. У животных все клинические признаки были в пределах нормы и резко не отличались от показателей контрольных животных. Это доказывает, что оба растения вместе и их смеси с альбеном можно применить против нематод – паразитов желудочно-кишечного тракта овец.

#### Список литературы

1. **Магеррамов, С. Г.** Кумулятивные свойства смеси полыни и гармалы / С. Г. Магеррамов // Известия естественных и технических наук. Нахчыванское отделение Национальной Академии наук Азербайджана. – 2008. – № 4. – С. 159–161.
2. Антипаразитарные растения. «Геракл». – URL: <http://subscribe.ru/archive/science.health.colostrum/200705/29101711.html>
3. **Волков, Ф. А.** Влияние ризосферы растений из яйца *Ascaris suum* в условиях Подмосковья / Ф. А. Волков // Бюллетень ВИГИС. – 1976. – Вып. 18. – С. 9–14.
4. **Эминов, Р. Ш.** Эпизоотология трихостронгилеза и остератагиоза овец в районах южного склона Большого Кавказа Азербайджанской ССР и эффективность некоторых лекарственных растений при этих инвазиях : автореф. дис. ... канд. вет. наук / Эминов Р. Ш. – М., 1982. – 30 с.
5. **Черепанов, С. К.** Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С. К. Черепанов. – СПб. : Мир и семья, 1995. – 990 с.
6. **Дамиров, И. А.** Лекарственные растения Азербайджана / И. А. Дамиров, Л. И. Прилипко, Д. З. Шукюров, Ю. Б. Керимов. – Баку : Маариф, 1988. – 304 с.
7. **Рабинович, М. И.** Ветеринарная фитотерапия / М. И. Рабинович. – М. : Росагропромиздат, 1988. – 166 с.
8. **Магеррамов, С. Г.** Антигельминтная эффективность полыни против желудочно-кишечного тракта овец / С. Г. Магеррамов // Аграрная наука Азербайджана. – 2000. – № 1–2. – С. 78–80.
9. **Гаджиев, Я. Г.** Антигельминтная эффективность гармалы (*Peganum harmala*) / Я. Г. Гаджиев, С. Г. Магеррамов // Аграрная наука Азербайджана. – 1996. – № 1–2. – С. 65–66.
10. **Магеррамов, С. Г.** Влияние на общее клиническое состояние овец смеси полынь – гармалы / С. Г. Магеррамов // Известия естественных и технических наук. Нахчыванское отделение Национальной Академии наук Азербайджана. – 2008. – № 2. – С. 62–65.
11. **Мамедов, А. Г.** Ветеринарная паразитология / А. Г. Мамедов, Я. Г. Гаджиев, Н. М. Ширинов, А. А. Агаев. – Баку : Азернешр, 1986. – 428 с.

**References**

1. Maharramov S. G. *Izvestiya estestvennykh i tekhnicheskikh nauk. Nakhchivanskoe otdelenie Natsional'noy Akademii nauk Azerbaydzhana* [Proceedings of natural and technical sciences. Nakhichevan department of the National Academy of Sciences of Azerbaijan]. 2008, no. 4, pp. 159–161.
2. *Antiparazitarnye rasteniya. «Gerakl»*. [Antiparasitic plants. “Hercules”]. Available et: <http://subscribe.ru/archive/science.health.colostrum/200705/29101711.html>
3. Volkov F. A. *Byulleten' VIGIS* [Proceedings of All-USSR Institute of Helminthology named after K. I. Skryabin]. 1976, iss. 18, pp. 9–14.
4. Eminov R. Sh. *Epizootologiya trikhstrongileza i osteratagioza ovets v rayonakh yuzhnogo sklona Bol'shogo Kavkaza Azerbaydzhanskoy SSR i effektivnost' nekotorykh lekarstvennykh rasteniy pri etikh invazyakh: avtoref. dis. kand. vet. nauk* [Epizootology of trichostrongyloidosis and ostertagiosis in sheep in regions of the southern slope of Bolshoy Kavkaz in Azerbaijan SSR and effectiveness of some medicinal plants against said invasions: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of veterinary sciences]. Moscow, 1982, 30 p.
5. Cherepanov S. K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and neighbouring countries (within the limits of former USSR)]. Saint Petersburg: Mir i sem'ya, 1995, 990 p.
6. Damirov I. A., Prilipko L. I., Shukyurov D. Z., Kerimov Yu. B. *Lekarstvennye rasteniya Azerbaydzhana* [Medicinal plants of Azerbaijan]. Baku: Maarif, 1988, 304 p.
7. Rabinovich M. I. *Veterinarnaya fitoterapiya* [Veterinary herbal therapy]. Moscow: Rosagropromizdat, 1988, 166 p.
8. Maharramov S. G. *Agrarnaya nauka Azerbaydzhana* [Agricultural science of Azerbaijan]. 2000, no. 1–2, pp. 78–80.
9. Gadzhiev Ya. G., Maharramov S. G. *Agrarnaya nauka Azerbaydzhana* [Agricultural science of Azerbaijan]. 1996, no. 1–2, pp. 65–66.
10. Maharramov S. G. *Izvestiya estestvennykh i tekhnicheskikh nauk. Nakhchivanskoe otdelenie Natsional'noy Akademii nauk Azerbaydzhana* [Proceedings of natural and technical sciences. Nakhichevan department of the National Academy of Sciences of Azerbaijan]. 2008, no. 2, pp. 62–65.
11. Mamedov A. G., Gadzhiev Ya. G., Shirinov N. M., Agaev A. A. *Veterinarnaya parazitologiya* [Veterinary parasitology]. Baku: Azerneshr, 1986, 428 p.

---

**Магеррамов Салех Гейдар оглы**  
доктор биологических наук, доцент,  
заведующий кафедрой зоологии,  
Нахичеванский государственный  
университет  
(Азербайджанская Республика,  
Нахичеванская Автономная  
Республика, г. Нахичевань,  
Университетский городок)

E-mail: salehmaharramov@mail.ru

---

**Maharramov Salekh Geydar ogly**  
Doctor of biological sciences, associate  
professor, head of sub-department  
of zoology, Nakhichevan State University  
(The Azerbaijani Republic,  
Nakhichevan Autonomous  
Republic, Nakhchivan, Campus)

---

УДК 619. 616. 576. 895. 132

**Магеррамов, С. Г. оглы**

**Антигельминтные действия растений и их смеси с химическим препаратом / С. Г. оглы Магеррамов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 64–68.**

**ПОЛОВОЙ ПОЛИМОРФИЗМ РАСТЕНИЙ  
ПОДКЛАССОВ MAGNOLIIDAE И RANUNCULIDAE  
В СИБИРИ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Выявление видов с половой дифференциацией в пределах флористических регионов может способствовать решению ряда важных вопросов проблемы пола у растений, в том числе выявлению эволюционных причин разделения полов. Цель данной работы – выявление видов с половой дифференциацией и анализ взаимосвязей половой дифференциации с биологическими особенностями видов на примере подклассов Magnoliidae и Ranunculidae в Сибири. *Материалы и методы.* Для каждого вида и подвида указаны следующие характеристики: половая дифференциация, жизненная форма, вегетативная подвижность, тип ареала, поясно-зональная группа, экологическая группа по отношению к увлажнению. *Результаты.* У 4,1 % (11 видов) покрытосеменных растений подкласса Ranunculidae в Сибири встречаются четыре формы половой дифференциации: гиномоноэция, андромоноэция, гинодиэция, диэция, самые распространенные из которых – гинодиэция (5 видов) и андромоноэция (3 вида). В подклассе Magnoliidae у 33,3 % (3 вида) выявлена одна половая форма – моноэция. Выявлена связь между интенсивностью и направленностью половой дифференциации растений с их жизненными формами, вегетативной подвижностью, экологическими, хорологическими и фитоценотическими особенностями. *Выводы.* В подклассе Ranunculidae наблюдается самая низкая из всех подклассов двудольных растений дифференциация на половые типы и формы: из 271 вида только у 11 встречаются однополые цветки. В процессе эволюции экологические и фитоценотические условия определяли степень интенсивности перехода растений от гермафродитного состояния к раздельнополовости.

**Ключевые слова:** половая дифференциация, Magnoliidae, Ranunculidae, Сибирь.

V. N. Godin

**THE PLANT SEXUAL POLYMORPHISM IN THE SUBCLASS  
MAGNOLIIDAE AND RANUNCULIDAE IN SIBERIA.  
THE SURVEY OF LITERATURE ON THE SUBJECT**

**Abstract.** *Background.* The identification of species with sexual differentiation within floristic regions can contribute to solving a number of important plant sex issues, including the identification of the evolutionary causes of sexual differentiation. The aim of this paper is the identification of species with sexual differentiation and analysis of the relationship of sexual differentiation to the biological features of species as exemplified in the subclasses Magnoliidae and Ranunculidae in Siberia. *Materials and methods.* For each species and subspecies the following characteristics are given: sexual differentiation, life form, vegetative mobility, area type, zonal group, ecological group in relation to humidification. *Results.* In 4,1 % (11 species) of metasperms of the subclass Ranunculidae in Siberia four forms of sexual differentiation have been found: gynomonoecey, andromonoecey, gynodioecey, dioecey, the most frequent ones being gynodioecey (5 species) and anromonoecey (3 species). In the subclass Magnoliidae one sexual form, monoecy, has been found in 33,3 % (3 species). There is a direct connection between the intensity and direction of sexu-

al differentiation of plants and their life forms, vegetative mobility, ecological, chorologic and phytocenotic features. *Conclusions.* In the subclass Ranunculidae there is the weakest differentiation into sexual types and forms of all dicotyledonous plant subclasses: out of 271 species only 11 have unisexual flowers. In the evolutionary process ecological and phytocenotic conditions determined the intensity degree of transition from hermaphroditic plants to the non-hermaphroditic state.

**Key words:** sexual differentiation, Magnoliidae, Ranunculidae, Siberia.

### **Введение**

Выявление видов с половой дифференциацией в пределах флористических регионов может способствовать решению ряда важных вопросов проблемы пола у растений, в том числе выявлению эволюционных причин разделения полов. Данная статья представляет собой логическое продолжение анализа полового полиморфизма растений флоры Сибири [1–4]. Ранее нами было показано, что подкласс Hamamelididae во флоре Сибири состоит полностью из негермафродитных видов. Из остальных наиболее богаты видами с половой дифференциацией два подкласса – Caryophyllidae (43,7 % видов) и Asteridae (42,3 %). Цель данной работы – выявление видов с половой дифференциацией и анализ взаимосвязей половой дифференциации с биологическими особенностями видов на примере подклассов Magnoliidae и Ranunculidae в Сибири.

### **Материал и методика**

К подклассу Magnoliidae в Сибири относятся 3 порядка, 4 семейства, 5 родов и 9 видов, к подклассу Ranunculidae – 3 порядка, 7 семейств, 37 родов и 271 вид и подвид [5]. Список видов и подвидов для исследования основан на «Конспекте флоры Сибири» [5] и «Флоре Сибири» [6–8]. Для каждого вида и подвида указаны следующие характеристики: половая дифференциация, жизненная форма, вегетативная подвижность, тип ареала, поясno-зональная группа, экологическая группа по отношению к увлажнению. Жизненные формы, типы ареалов, поясno-зональные группы, экологическая приуроченность видов приведены по следующим работам [9–16]. Жизненные формы классифицированы по системе И. Г. Серебрякова [17] и выделены соответственно: древесные, полудревесные растения, наземные (поликarpические и монокарпические) и водные травы. Для выявления особенностей структуры жизненных форм у видов крупных родов использованы работы [18–21]. Выделены пять типов ареалов (циркумполярные, евразийские, азиатско-американские, азиатские, геми- и эндемики) и пять экологических групп растений по степени увлажнения (ксерофиты, мезоксерофиты и ксеромезофиты, мезофиты, гигрофиты, гидрофиты). Все виды и подвиды отнесены к шести поясno-зональным группам: степные, лесостепные, бореальные, высокогорные, арктические и гипарктические, аazonальные.

В приведенном ниже списке семейства, роды и виды внутри семейства расположены по алфавиту. Для каждого вида указана его половая дифференциация. Если вид характеризуется половым полиморфизмом, то приведены авторы, описавшие ту или иную форму половой дифференциации, а варианты половой дифференциации перечислены по степени уменьшения их встречаемости. Приняты следующие условные обозначения: М – моноэция, АМ – андромоноэция, ГМ – гиномоноэция, Д – диэция, ГД – гинодиэция [22].

## Результаты и их обсуждение

Подкласс Magnoliidae.

*Ceratophyllaceae*. *Ceratophyllum demersum* L., *C. oryzetorum* Kom., *C. submersum* L. [М] [23].

Подкласс Ranunculidae.

*Menispermaceae*. *Menispermum dauricum* DC. [Д] [24].

*Ranunculaceae*. *Anemone altaica* Fisch. ex C. A. Mey. [ГД] [25], *A. ranunculoides* L. [АМ] [26], *Batrachium trichophyllum* (Chaix) Bosch [ГМ], *Caltha palustris* L. [АМ] [27], *Cimicifuga dahurica* (Turcz.) Maxim. [Д, М] [28], *C. simplex* (DC.) Wormsk. ex Turcz. [ГД, АМ, АД] [29], *Ranunculus acris* L. [ГД, ГМ] [27], *R. auricomus* L. [ГД, ГМ, АД] [27, 29], *R. polyanthemus* L. [АМ] [30], *R. repens* L. [ГД] [27].

Анализ половой дифференциации растений подкласса *Magnoliidae* в Сибири показывает, что из 9 видов для 3 из них (33,3 % от общего числа видов) характерны негермафродитные цветки. Половой полиморфизм у всех видов из сем. *Ceratophyllaceae* представлен исключительно моноэцией.

В подклассе *Ranunculidae* из 271 вида 11 образуют однополые цветки (4,1 % от общего числа видов). Иными словами, дифференциация на половые типы и формы в пределах подкласса *Ranunculidae* самая низкая из всех подклассов двудольных растений во флоре Сибири. У данных 11 видов представлены четыре формы половой дифференциации. Наиболее часто встречаются гинодиэичные (5 видов), андромоноэичные (3 вида), диэичные (2 вида). Два варианта половой дифференциации – андродиэция и гиномоноэция – представлены каждая одним видом.

В подклассе *Magnoliidae* на уровне семейств в 1 из 4 (25,0 %) отмечены виды с половой дифференциацией: все три вида рода *Ceratophyllum* характеризуются моноэцией.

В подклассе *Ranunculidae* на уровне семейств в 2 из 7 (28,6 %) встречаются таксоны с разными вариантами половой дифференциации. Пять семейств – *Berberidaceae*, *Hypocoaceae*, *Fumariaceae*, *Raeoniaceae*, *Papaveraceae* – в пределах Сибири представлены видами, формирующими только гермафродитные цветки. Анализ имеющейся литературы показал, что данные семейства не только на территории Сибири представлены исключительно видами с обоеполюми цветками.

Сем. *Menispermaceae* представлено диэичными растениями как на территории Сибири, так и за ее пределами [24].

Сем. *Ranunculaceae* включает 65–71 род и 2500 видов [31]. По нашим данным, для 20–25 % родов из этого семейства характерно наличие разных половых типов и форм вне территории Сибири. Так, среди видов рода *Clematis* встречаются диэичные растения [32]. Андродиэция, диэция, субдиэция, андромоноэция и гиномоноэция широко представлены у американских видов подрода *Lecoyerium* рода *Thalictrum* [33]. По данным P. Knuth [27], у 4 видов рода *Pulsatilla* (*P. montana* (Horn) Rechb., *P. pratensis* (L.) Mill., *P. vernalis* (L.) Mill., *P. vulgaris* Mill.) андромоноэция сопровождается андродиэцией и т.д.

На территории Сибири 19,2 % родов и около 5 % видов из сем. *Ranunculaceae* образуют однополые цветки. Из 26 родов в 5 отмечены виды и подвиды с половым полиморфизмом. По степени уменьшения числа видов

и подвидов с негермафродитными цветками эти рода располагаются в следующем порядке: *Cimicifuga*, *Caltha*, *Anemone*, *Batrachium*, *Ranunculus*.

Анализ данных показывает, что наблюдается зависимость между половой дифференциацией и жизненными формами растений из подклассов Magnoliidae и Ranunculidae на территории Сибири. Среди видов с половой дифференциацией преобладают травянистые многолетники (10 видов). Водные травы представлены 1 видом. У растений обоих подклассов в Сибири отмечается связь между вегетативной подвижностью и половой дифференциацией: 10 видов, образующих однополые цветки, вегетативно подвижные.

Интересно отметить связь между половой дифференциацией и экологическими группами по степени увлажнения: виды с однополыми цветками встречаются среди мезофитов, гигрофитов и гидрофитов и полностью отсутствуют у ксерофитов.

Анализ взаимосвязей половой дифференциации растений и размеров их ареалов показал, что среди видов с циркумполярными, евразийскими и азиатскими ареалами значительно выше доля растений с половым полиморфизмом. Характерно, что среди гемизндемиков и эндемиков не встречаются виды с половым полиморфизмом.

Соответственно неравномерное распределение половых форм растений, наблюдающееся в группах по степени увлажнения, приводит к неравномерному распределению раздельнополых и гермафродитных растений по разным поясно-зональным группам. У видов, относящихся к бореальным и азональным поясно-зональным группам, отмечается повышенная доля растений с половым полиморфизмом. Среди видов других поясно-зональных групп число растений с негермафродитными цветками значительно ниже или они полностью отсутствуют.

### **Заключение**

Из 9 видов подкласса Magnoliidae в Сибири 3 образуют однополые цветки (моноэция). В подклассе Ranunculidae наблюдается самая низкая из всех подклассов двудольных растений дифференциация на половые типы и формы: из 271 вида только у 11 встречаются однополые цветки. В пределах этого подкласса только в сем. *Menispermaceae* и *Ranunculaceae* выявлены четыре половых формы: гинодиэция (5 видов), андромоноэция (3 вида), диэция (2 вида), гиномоноэция (1 вид) и андродиэция (1 вид).

Четко прослеживается связь между интенсивностью и направленностью половой дифференциации растений с их жизненными формами, вегетативной подвижностью, экологическими, хорологическими и фитоценотическими особенностями. Концентрация разных половых форм по поясно-зональным группам дает основание предполагать, что в процессе эволюции экологические и фитоценотические условия определяли степень интенсивности перехода растений от гермафродитного состояния к раздельнополовости. Появление однополых цветков и разных половых форм особей в популяциях, скорее всего, способствует продвижению раздельнополых форм значительно дальше границ распространения родственных гермафродитных видов.

### **Список литературы**

1. **Годин, В. Н.** Половой полиморфизм видов растений подкласса *Lamiidae* в Сибири. Обзор литературы / В. Н. Годин // Растительный мир Азиатской России. – 2011. – № 2 (8). – С. 49–53.

2. **Годин, В. Н.** Анализ полового полиморфизма растений подкласса *Rosidae* в Сибири / В. Н. Годин // Сибирский экологический журнал. – 2012. – № 3. – С. 453–460.
3. **Годин, В. Н.** Половой полиморфизм у представителей подклассов *Hamamelididae* и *Dilleniidae* в Сибири: обзор литературы / В. Н. Годин // Вестник Тверского государственного университета. Сер. биология и экология. – 2012. – Вып. 26, № 16. – С. 95–106.
4. **Годин, В. Н.** Половой полиморфизм видов растений подкласса *Asteridae* в Сибири. Обзор литературы / В. Н. Годин // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 364. – С. 207–211.
5. Конспект флоры Сибири: Сосудистые растения. – Новосибирск : Наука, 2005. – 362 с.
6. Флора Сибири. *Salicaceae – Amaranthaceae*. – Новосибирск : Наука, 1992. – Т. 5. – 311 с.
7. Флора Сибири. *Portulacaceae – Ranunculaceae*. – Новосибирск : Наука, 1993. – Т. 6. – 309 с.
8. Флора Сибири. *Berberidaceae – Grossulariaceae*. – Новосибирск : Наука, 1994. – Т. 7. – 311 с.
9. **Безделев, А. Б.** Жизненные формы семенных растений Дальнего Востока России / А. Б. Безделев, Т. А. Безделева. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 296 с.
10. **Королюк, А. Ю.** Экологические оптимумы растений юга Сибири / А. Ю. Королюк // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. – 2006. – Вып. 12. – С. 3–28.
11. **Куминова, А. В.** Растительный покров Алтая / А. В. Куминова. – Новосибирск : Наука, 1960. – 450 с.
12. **Малышев, Л. И.** Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье) / Л. И. Малышев, Г. А. Пешкова. – Новосибирск : Наука, 1984. – 265 с.
13. **Пешкова, Г. А.** Флорогенетический анализ степной флоры гор Южной Сибири / Г. А. Пешкова. – Новосибирск : Наука, 2001. – 192 с.
14. Растительный покров Хакасии. – Новосибирск : Наука, 1976. – 424 с.
15. **Секретарева, Н. А.** Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий / Н. А. Секретарева. – М. : КМК, 2004. – 131 с.
16. Флора Салаирского кряжа. – Новосибирск : Наука, 2007. – 252 с.
17. **Серебряков, И. Г.** Экологическая морфология растений / И. Г. Серебряков. – М. : Высш. шк., 1962. – 378 с.
18. **Безделева, Т. А.** Морфогенез и эволюционные отношения жизненных форм некоторых видов рода *Corydalis* Vent. : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Безделева Т. А. – М. : МПГУ, 1976. – 16 с.
19. **Зиман, С. Н.** Морфология и филогения семейства лютиковых / С. Н. Зиман. – Киев : Наукова думка, 1985. – 248 с.
20. **Соколова, Т. Г.** Эколого-морфологическая характеристика рода *Ranunculus* L. / Т. Г. Соколова, А. Г. Еленевский // Жизненные формы в экологии и систематике растений. – М. : МПГУ, 1986. – С. 52–58.
21. **Щеголева, Н. В.** Род *Ranunculus* L. Алтае-Саянской флористической провинции : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Щеголева Н. В. – Томск : ТГУ, 2006. – 23 с.
22. **Годин, В. Н.** Половая дифференциация у растений. Термины и понятия / В. Н. Годин // Журнал общей биологии. – 2007. – Т. 68, № 2. – С. 98–108.
23. **Engler, A.** *Ceratophyllaceae* / A. Engler, K. Prantl // Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten, insbesondere den Nutzpflanzen, unter Mitwirkung zahlreicher hervorragender Fachgelehrten begründet. – Leipzig, 1891. – Т. 3. – Abt. 2. – S. 10–12.
24. **Prantl K.** *Menispermaceae* / A. Engler, K. Prantl // Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten, insbesondere den Nutzpflanzen, unter Mitwirkung zahlreicher hervorragender Fachgelehrten begründet. – Leipzig, 1891. – Т. 3. – Abt. 2. – S. 78–91.
25. **Демьянова, Е. И.** Распространение гинодиэзии у цветковых растений / Е. И. Демьянова // Бот. журнал. – 1985. – Т. 70, № 10. – С. 1289–1301.

26. **Schuler, T. H.** Population-scale laboratory studies of the effect of transgenic plants on nontarget insects / T. H. Schuler, I. Denholm, L. Jouanin, S. J. Clark, A. J. Clark, G. M. Poppy // *Molecular Ecology*. – 2001. – Vol. 10, № 7. – P. 1845–1853.
27. **Knuth, P.** Handbuch der Blütenbiologie / P. Knuth. – Leipzig, 1898. – Bd II. – T. I. – 696 S.
28. **Шипчинский, Н. В.** Клопогон – *Cimicifuga* L. / Н. В. Шипчинский // *Флора СССР*. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1937. – Т. 7. – С. 82–86.
29. **Pellmyr, O.** Multiple sex expression in *Cimicifuga simplex*: dichogamy destabilizes hermaphroditism / O. Pellmyr // *Biol. J. Linn. Soc.* – 1987. – Vol. 31, № 2. – P. 161–174.
30. **Демьянова, Е. И.** Половой полиморфизм цветковых растений : дис. ... д-ра биол. наук / Демьянова Е. И. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – Т. 2. – 112 с.
31. **Takhtajan, A.** Flowering plants. – Springer, 2009. – 871 p.
32. **Kuntze, O.** Monographie der Gattung *Clematis* / O. Kuntze // *Verhandl. Bot. Ver. Prov.* – Branderburg, 1885. – Bd. 26. – S. 83–202.
33. **Boivin, B.** American *Thalictra* and their Old World allies / B. Boivin // *Rhodora*. – 1944. – Vol. 46, № 550. – P. 337–377.

### **References**

1. Godin V. N. *Rastitel'nyy mir Aziatskoy Rossii* [Vegetable kingdom of Asian Russia]. 2011, no. 2 (8), pp. 49–53.
2. Godin V. N. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberia ecological journal]. 2012, no. 3, pp. 453–460.
3. Godin V. N. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. biologiya i ekologiya* [Bulletin of Tver State University. Series: biology and ecology]. 2012, iss. 26, no. 16, pp. 95–106.
4. Godin V. N. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University]. 2012, no. 364, pp. 207–211.
5. *Konspekt flory Sibiri: Sosudistye rasteniya* [Summary of Siberian flora: Vascular plants]. Novosibirsk: Nauka, 2005, 362 p.
6. *Flora Sibiri. Salicaceae – Amaranthaceae* [Flora of Siberia. Salicaceae – Amaranthaceae]. Novosibirsk: Nauka, 1992, vol. 5, 311 p.
7. *Flora Sibiri. Portulacaceae – Ranunculaceae* [Flora of Siberia. Portulacaceae – Ranunculaceae]. Novosibirsk: Nauka, 1993, vol. 6, 309 p.
8. *Flora Sibiri. Berberidaceae – Grossulariaceae* [Flora of Siberia. Berberidaceae – Grossulariaceae]. Novosibirsk: Nauka, 1994, vol. 7, 311 p.
9. Bezdelev A. B., Bezdeleva T. A. *Zhiznennyye formy semennykh rasteniy Dal'nego Vostoka Rossii* [Life forms of spermatophytes of the Far East of Russia]. Vladivostok: Dal'nauka, 2006, 296 p.
10. Korolyuk A. Yu. *Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana* [Botanical research of Siberia and Kazakhstan]. 2006, iss. 12, pp. 3–28.
11. Kuminova A. V. *Rastitel'nyy pokrov Altaya* [Plant cover of Altay]. Novosibirsk: Nauka, 1960, 450 p.
12. Malyshev L. I., Peshkova G. A. *Osobennosti i genezis flory Sibiri (Predbaykal'e i Zabaykal'e)* [Specifics and genesis of Siberian flora (West of Baykal and East of Baykal)]. Novosibirsk: Nauka, 1984, 265 p.
13. Peshkova G. A. *Florogeneticheskiy analiz stepnoy flory gor Yuzhnoy Sibiri* [Florogenetic analysis of steppe flora of southern Siberian mountains]. Novosibirsk: Nauka, 2001, 192 p.
14. *Rastitel'nyy pokrov Khakasii* [Plant cover of Khakasiya]. Novosibirsk: Nauka, 1976, 424 p.
15. Sekretareva N. A. *Sosudistye rasteniya Rossiyskoy Arktiki i sopredel'nykh territoriy* [Vascular plants of Russian Arctic and neighbouring territories]. Moscow: KMK, 2004, 131 p.

16. *Flora Salairского kryazha* [Flora of Salair mountain ridge]. Novosibirsk: Nauka, 2007, 252 p.
17. Serebryakov I. G. *Ekologicheskaya morfologiya rasteniy* [Ecological morphology of plants]. Moscow: Vyssh. shk., 1962, 378 p.
18. Bezdeleva T. A. *Morfogenez i evolyutsionnye otnosheniya zhiznennykh form nekotorykh vidov roda Corydalis Vent.: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Morphogenesis and evolutionary relations of life forms of some types of Corydalis Vent. genus: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: MPGU, 1976, 16 p.
19. Ziman S. N. *Morfologiya i filogeniya semeystva lyutikovykh* [Morphology and phylogeny of Ranunculus family]. Kiev: Naukova dumka, 1985, 248 p.
20. Sokolova T. G., Elenevskiy A. G. *Zhiznennye formy v ekologii i sistematike rasteniy* [Life forms in plant ecology and systematics]. Moscow: MPGU, 1986, pp. 52–58.
21. Shchegoleva N. V. *Rod Ranunculus L. Altae-Sayanskoy floristicheskoy provintsii: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Ranunculus L. genus of Altay-Sayan floral region]. Tomsk: TGU, 2006, 23 p.
22. Godin V. N. *Zhurnal obshchey biologii*. [Journal of general biology]. 2007, vol. 68, no. 2, pp. 98–108.
23. Engler A., Prantl K. *Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten, insbesondere den Nutzpflanzen, unter Mitwirkung zahlreicher hervorragender Fachgelehrten begründet* [Natural plant families – genera and important types thereof, agriculturalcultures particularly, edited by leading researchers]. Leipzig, 1891, vol. 3, sect. 2, pp. 10–12.
24. Prantl K., Engler A. *Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten, insbesondere den Nutzpflanzen, unter Mitwirkung zahlreicher hervorragender Fachgelehrten begründet* [Natural plant families – genera and important types thereof, Agriculturalcultures particularly, edited by leading researchers]. Leipzig, 1891, vol. 3, sect. 2, pp. 78–91.
25. Dem'yanova E. I. *Bot. zhurnal* [Botanic journal]. 1985, vol. 70, no. 10, pp. 1289–1301.
26. Schuler T. H., Denholm I., Jouanin L., Clark S. J., Clark A. J., Poppy G. M. *Molecular Ecology*. 2001, vol. 10, no. 7, pp. 1845–1853.
27. Knuth P. *Handbuch der Blütenbiologie* [Handbook of floral biology]. Leipzig, 1898, vol. II, part I, 696 p.
28. Shipchinskiy N. V. *Flora SSSR* [Flora of USSR]. Moscow ; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1937, vol. 7, pp. 82–86.
29. Pellmyr O. *Biol. J. Linn. Soc.* 1987, vol. 31, no. 2, pp. 161–174.
30. Dem'yanova E. I. *Polovoy polimorfizm tsvetkovykh rasteniy: dis. d-ra biol. nauk* [Sex polymorphism of flowering plants: dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Moscow: Izd-vo MGU, 1990, vol. 2, 112 p.
31. Takhtajan A. *Flowering plants*. Springer, 2009, 871 p.
32. Kuntze O. *Verhandl. Bot. Ver. Prov. Branderburg*, 1885, vol. 26, pp. 83–202.
33. Boivin B. *Rhodora*. 1944, vol. 46, no. 550, pp. 337–377.

**Годин Владимир Николаевич**

доктор биологических наук, профессор,  
кафедра ботаники, Московский  
педагогический государственный  
университет  
(г. Москва, ул. Кибальчича, 6)

E-mail: godinvn@yandex.ru

**Godin Vladimir Nikolaevich**

Doctor of biological sciences, professor,  
sub-department of botany, Moscow State  
Pedagogical University  
(Moscow, 6 Kibalchicha str.)

УДК 57.017.5: 581.9

**Годин, В. Н.**

**Половой полиморфизм растений подклассов Magnoliidae и Ranunculidae в Сибири. Обзор литературы / В. Н. Годин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 69–76.**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСЕЙ ПРАЗЕОДИМА, ТУЛИЯ И ГОЛЬМИЯ НА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Как известно, примеси редкоземельных элементов могут оказывать значительное влияние на люминесцентно-кинетические характеристики люминофоров. Нами исследовалось воздействие примесей ионов  $Pr^{3+}$ ,  $Tm^{3+}$  и  $Ho^{3+}$  на ИК-люминесценцию полидисперсных твердых растворов  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$  в области длин волн 960–1100 нм. *Материалы и методы.* Для определения воздействия примесей ионов  $Pr^{3+}$ ,  $Tm^{3+}$  и  $Ho^{3+}$  на ИК-люминесценцию полидисперсных твердых растворов  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$  при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в интервале 940–980 нм нами были синтезированы и исследованы следующие концентрационные серии:  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Pr_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,01$ ),  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Tm_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ),  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Ho_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ). Проведен анализ энергетических структур ионов иттербия, празеодима, тулия, гольмия. *Результаты.* Примеси ионов  $Pr^{3+}$ ,  $Tm^{3+}$  и  $Ho^{3+}$  оказывают заметное влияние на ИК-люминесценцию полидисперсных твердых растворов  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$ . Эти примеси являются тушителями ИК-люминесценции. Наиболее сильное воздействие оказывает примесь ионов  $Pr^{3+}$ . При их концентрации, равной 0,01 атомных долей, происходит падение интенсивности ИК-люминесценции в области длин волн 960–1100 нм в 10 раз. *Выводы.* На основании анализа экспериментальных зависимостей и энергетических структур ионов иттербия, празеодима, тулия, гольмия предложены механизмы передачи энергии от ионов иттербия к ионам примеси. Основными каналами передачи энергии можно считать следующие:  $Yb^{3+} (^2F_{5/2}) \rightarrow Pr^{3+} (^1G_4)$ ,  $Yb^{3+} (^2F_{5/2}) \rightarrow Tm^{3+} (^3H_5)$ ,  $Yb^{3+} (^2F_{5/2}) \rightarrow Ho^{3+} (^5I_6)$ .

**Ключевые слова:** люминесценция, редкоземельные элементы,  $YAl_3(BO_3)_4$ , празеодим, тулий, иттербий, гольмий.

S. V. Kostyukov

## THE STUDY OF THE INFLUENCE OF PRASEODYMIUM, THULIUM AND HOLMIUM IMPURITIES ON THE LUMINESCENCE OF SOLID SOLUTIONS $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$

**Abstract.** *Background.* As it is known, the impurities of rare earth elements can have a significant impact on the luminescent-kinetic characteristics of phosphors. We have studied the impact of  $Pr^{3+}$ ,  $Tm^{3+}$  and  $Ho^{3+}$  ion impurity on IR luminescence of polydisperse solid solutions of  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$  in the wavelength range of 960–1100 nm. *Materials and methods.* To determine the effects of  $Pr^{3+}$ ,  $Tm^{3+}$  and  $Ho^{3+}$  ion impurities on IR luminescence of polydisperse solid solutions  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$  by laser excitation with the wavelength range of 940–980 nm, we synthesized and investigated the following concentration series:  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Pr_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,01$ ),

$Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Tm_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ),  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Ho_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ). The analysis of the energy structures of ytterbium, praseodymium, thulium and holmium has been conducted. *Results.*  $Pr^{3+}$ ,  $Tm^{3+}$  and  $Ho^{3+}$  ion impurities have a marked effect on the IR luminescence of polydisperse solid solutions of  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$ . These impurities are IR luminescence quenchers.  $Pr^{3+}$  ion impurity exercises the strongest influence. Their concentration of 0.01 atomic fraction brings about the 10-time decline of IR luminescence intensity in the wavelength range of 960–1100 nm. *Conclusions.* On the basis of the analysis of the experimental curves and energy structures of ytterbium, praseodymium, thulium, holmium, mechanisms of energy transfer from ytterbium ions to impurity ions have been proposed. The main channels of energy transfer are the following:  $Yb^{3+} (^2F_{5/2}) \rightarrow Pr^{3+} (^1G_4)$ ,  $Yb^{3+} (^2F_{5/2}) \rightarrow Tm^{3+} (^3H_5)$ ,  $Yb^{3+} (^2F_{5/2}) \rightarrow Ho^{3+} (^5I_6)$ .

**Key words:** Luminescence, rare earth elements,  $YAl_3(BO_3)_4$ , praseodymium, thulium, ytterbium, holmium.

## Введение

Люминесцентные материалы находят широкое применение в различных областях техники и технологии. Они используются в качестве активных элементов лазеров (монокристаллы, стекла, керамики), разнообразных маркеров, меток для контроля технологических процессов (порошковые люминофоры). Это накладывает определенные ограничения на выбор основы такого рода материала. Алумобораты редкоземельных элементов обладают высокой химической и радиационной стойкостью, хорошими механическими, тепловыми и оптическими свойствами [1–3], что определяет значительный интерес к ним в качестве люминесцентного материала. Так, много работ посвящено ИК-люминесценции алумобората иттрия, активированного ионами иттербия [3–6], но до настоящего времени практически не исследовалось влияние примесей редкоземельных элементов на ИК-люминесценцию полидисперсных твердых растворов  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$ . Целью настоящей работы является изучение влияния примесей ионов празеодима, тулия и гольмия на люминесценцию полидисперсных твердых растворов  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$  при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в интервале 940–980 нм.

## 1. Экспериментальная часть

Объектом исследования являлись концентрационные серии образцов  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Pr_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,01$ ),  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Tm_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ),  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Ho_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ), синтезированные по методике, описанной в работе [4]. Исходными материалами для приготовления образцов являлись оксиды иттрия, иттербия, празеодима, гольмия и тулия (ос.ч.), оксид алюминия (ос.ч.) и борная кислота (ос.ч.).

Фазовый состав образцов контролировали с помощью РФА (дифрактометр Д-501 фирмы «Siemens»,  $Cu\ K\alpha$ -излучение Ni-фильтр).

Спектры излучения записывали с применением монохроматора МДР-204, в диапазоне 800–2000 нм. Регистрацию осуществляли фотоприемным устройством ФПУ-ФС (PbS). Возбуждение люминесценции проводили излучением полупроводникового лазера Л-940/50/30 с выходной мощностью 50 мВт и длиной волны излучения 942 нм, в слое порошка на металлической подложке без связующего (геометрия 0–45°). Погрешность измерения интенсивности составляла 10 %.

## 2. Результаты и их обсуждение

Люминесцентно-кинетические свойства полидисперсных твердых растворов алюмобората иттрия, активированного ионами иттербия, подробно рассмотрены в работе [4]. Для ионов  $\text{Yb}^{3+}$  в данной матрице является характерной ИК-люминесценция в области 960–1100 нм (рис. 1) при возбуждении излучением в интервале длин волн 940–980 нм. Спектр ИК-люминесценции  $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Yb}^{3+}$  представлен двумя неэлементарными широкими полосами с максимумами на длинах волн 991 и 1042 нм. Они обусловлены оптически переходами между штарковскими компонентами основного ( $^2\text{F}_{7/2}$ ) и возбужденного ( $^2\text{F}_{5/2}$ ) уровней иона  $\text{Yb}^{3+}$  [3–5].

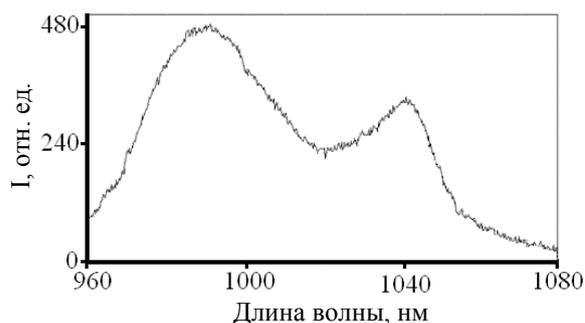


Рис. 1. Спектр ИК-люминесценции алюмобората иттрия, активированного ионами иттербия при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в диапазоне 940–980 нм [4]

В работе [4] сообщается, что значительный вклад в тушение ИК-люминесценции полидисперсных твердых растворов  $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Yb}^{3+}$  при возбуждении излучением в интервале длин волн 940–980 нм могут вносить примеси редкоземельных элементов. Для выявления их воздействия были синтезированы и исследованы следующие концентрационные серии:  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Pr}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,01$ ),  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Tm}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ),  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Ho}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ). Для данных образцов проводился рентгено-фазовый анализ. На рентгенограммах наблюдались четкие дифракционные максимумы, характерные для алюмоборатов редкоземельных элементов, кристаллизующихся в ромбоэдрической структуре с точечной симметрией  $D_3$  и пространственной группы  $R32$  [3, 5, 7]. Побочных фаз обнаружено не было. Средний размер частиц в образцах составлял 20 мкм.

Был проведен анализ спектров ИК-люминесценции исследуемых концентрационных серий при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в диапазоне 940–980 нм. В результате установлено, что, помимо люминесценции, в области 960–1100 нм других ИК-полос не обнаружено. По характеру полученные спектры подобны спектру, показанному на рис. 1. С увеличением концентрации ионов примеси для всех исследованных концентрационных серий наблюдается значительное падение интенсивности в данной волновой области без изменения структуры полос спектра. Этот факт свидетельствует в пользу того, что передача энергии возбуждения от ионов  $\text{Yb}^{3+}$  к ионам примеси происходит безызлучательно по донорно-акцепторному механизму.

Логарифмическая зависимость относительных интенсивностей ИК-люминесценции твердых растворов  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Pr_xAl_3(BO_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,01$ ) в области 960–1100 нм при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в интервале 940–980 нм от концентрации ионов празеодима представлена на рис. 2. Она является нелинейной и убывает на всей протяженности оси логарифма концентраций. Уже при концентрации ионов  $Pr^{3+}$ , равной 0,01 атомных долей, интенсивность ИК-люминесценции в области 960–1100 нм составляет порядка 10 % от интенсивности образцов без примеси празеодима. Это может свидетельствовать о высокой эффективности передачи энергии возбуждения от ионов донора ( $Yb^{3+}$ ) к ионам акцептора ( $Pr^{3+}$ ). Согласно данным, приведенным в работах [3, 8], энергии штарковских компонентов возбужденных  $^2F_{5/2}$ -уровня иона иттербия и  $^1G_4$ -уровня иона празеодима в матрице алюмобората иттрия находятся в интервалах  $10\ 188$ – $10\ 645\ \text{см}^{-1}$  и  $9798$ – $10\ 331\ \text{см}^{-1}$  соответственно. На основании этого передачу энергии возбуждения от ионов  $Yb^{3+}$  к ионам  $Pr^{3+}$  можно считать резонансной.

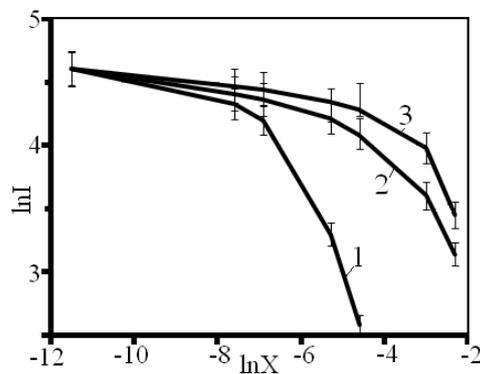
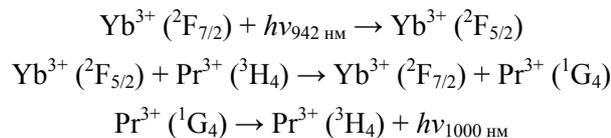


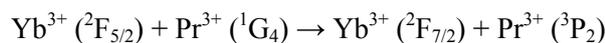
Рис. 2. Логарифмические зависимости относительных интенсивностей ИК-люминесценции в области 960–1100 нм от концентрации ионов микропримеси для концентрационных серий:

1 –  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Pr_xAl_3(BO_3)_4$ ; 2 –  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Tm_xAl_3(BO_3)_4$ ; 3 –  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Ho_xAl_3(BO_3)_4$

Данный процесс может быть описан схемой, приведенной на рис. 3. Она выведена аналитически в результате анализа данных, представленных в работах [8, 9]. Согласно схеме рис. 3 заселение возбужденных уровней примесных ионов  $Pr^{3+}$  при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в диапазоне 940–980 нм в твердых растворах  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Pr_xAl_3(BO_3)_4$  будет протекать по следующему механизму:



Благодаря процессам ап-конверсии могут быть заселены также верхние возбужденные энергетические уровни иона празеодима, в результате чего у полидисперсных твердых растворов  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Pr_xAl_3(BO_3)_4$  может наблюдаться люминесценция в видимой области спектра, характерная для ионов празеодима в алюмоборатной матрице [8]:



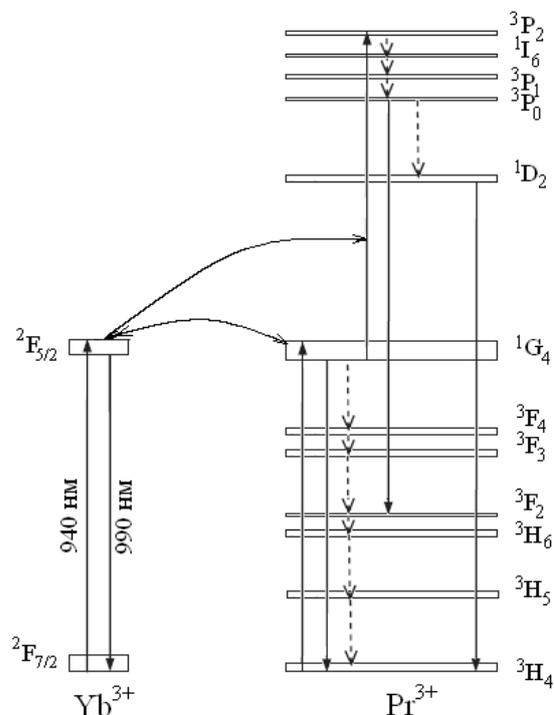
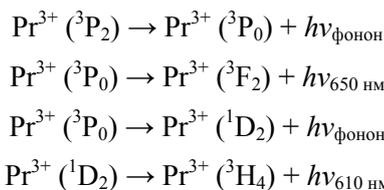


Рис. 3. Схема энергетических уровней и оптических переходов в ионах  $\text{Yb}^{3+}$  и  $\text{Pr}^{3+}$

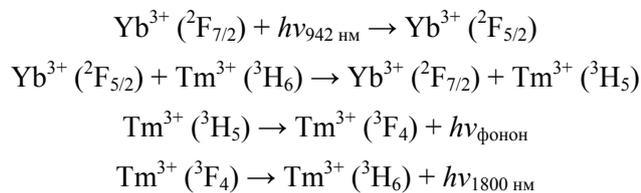
Согласно схеме, приведенной на рис. 3, твердые растворы  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Pr}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  могут иметь люминесценцию в видимой и ИК-области спектра при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в диапазоне 940–980 нм, но на спектрах люминесценции указанных полос обнаружено не было. Данный факт может быть объяснен высокой вероятностью безызлучательных переходов с уровня  $^1\text{G}_4$  иона празеодима и как следствие низкой эффективностью оптических переходов и процесса ап-конверсии. Основной причиной этого является большая по величине максимальная энергия фонона решетки. По данным работы [10] для матрицы алюмобората иттрия этот параметр составляет порядка  $1400 \text{ см}^{-1}$ .

Помимо основного процесса, характеризующего передачу энергии возбуждения от ионов иттербия к ионам празеодима, может иметь место обратный процесс. Он обусловлен возможностью возвращения энергии возбуждения с акцептора снова на донор. Данный процесс должен приводить к увеличению интенсивности ИК-люминесценции  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Pr}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  или к замедлению ее падения в области 960–1100 нм с увеличением концентрации ионов празеодима. Но судя по экспериментальным данным, этого не проис-

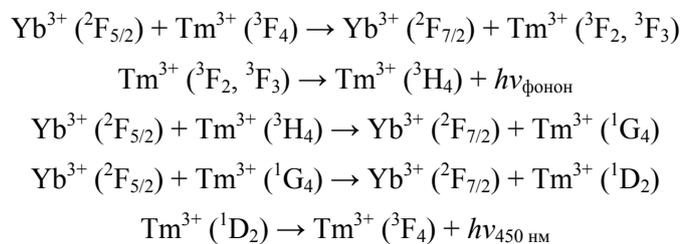
ходит. Более того, наблюдается обратная картина – при концентрациях  $\text{Pr}^{3+}$  0,001–0,01 атомных долей, когда его воздействие уже должно быть заметно, происходит наибольшее падение интенсивности ИК-люминесценции (зависимость 1 на рис. 2). Данный факт свидетельствует о малой вероятности процесса обратной передачи энергии возбуждения от ионов диспрозия к ионам иттербия.

Логарифмическая зависимость относительных интенсивностей ИК-люминесценции твердых растворов  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Tm}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ) в области 960–1100 нм при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в интервале 940–980 нм от концентрации ионов тулия представлена на рис. 2. Как и в случае примеси ионов празеодима, она является нелинейной и убывает на всей протяженности оси логарифма концентраций. При максимальной концентрации ионов  $\text{Tm}^{3+}$  (0,1 атомных долей) интенсивность ИК-люминесценции в области 960–1100 нм составляет порядка 20 % от интенсивности образцов без примеси тулия. Как видно из рис. 2, тушение ИК-люминесценции полидисперсных твердых растворов  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Tm}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  в исследованной области спектра значительно слабее, нежели в случае примеси ионов празеодима. Это может свидетельствовать о малой эффективности передачи энергии возбуждения от ионов донора ( $\text{Yb}^{3+}$ ) к ионам акцептора ( $\text{Tm}^{3+}$ ). Согласно данным, приведенным в работах [2, 11], энергетический зазор между штатковскими компонентами возбужденных  $^2\text{F}_{5/2}$ -уровня иона иттербия и  $^3\text{H}_5$ -уровня иона тулия в матрице алюмобората иттрия составляет порядка  $1900 \text{ см}^{-1}$ . На основании этого можно сделать вывод, что передача энергии возбуждения от ионов  $\text{Yb}^{3+}$  к ионам  $\text{Tm}^{3+}$  не является резонансной.

Процесс передачи энергии возбуждения между ионами донора и акцептора может быть описан схемой, приведенной на рис. 4. Согласно ей заселение возбужденных уровней примесных ионов  $\text{Tm}^{3+}$  при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 940–980 нм в твердых растворах  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Tm}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  будет протекать по следующему механизму:



Благодаря процессам ап-конверсии могут быть заселены также верхние возбужденные энергетические уровни иона тулия, в результате чего у полидисперсных твердых растворов  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Tm}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  может наблюдаться люминесценция в видимой области спектра, характерная для ионов тулия в алюмооборатной матрице [2]:



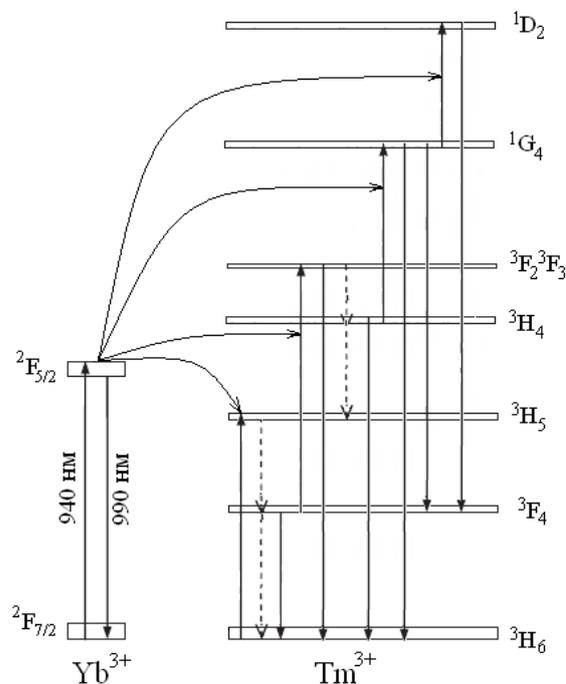
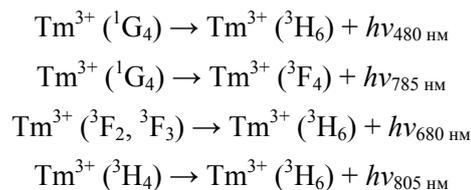


Рис. 4. Схема энергетических уровней и оптических переходов в ионах  $\text{Yb}^{3+}$  и  $\text{Tm}^{3+}$  [2]

Согласно схеме, приведенной на рис. 4, твердые растворы  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Tm}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  должны иметь люминесценцию в видимой и ИК-области спектра при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в диапазоне 940–980 нм, но на спектрах люминесценции указанных полос обнаружено не было. Данный факт может быть объяснен высокой вероятностью безызлучательных переходов с  $^3\text{H}_5$ ,  $^3\text{F}_4$ -уровней иона тулия и как следствие низкой эффективностью оптических переходов и процесса ап-конверсии. Так, энергетические зазоры между  $^3\text{H}_5$  и  $^3\text{F}_4$ ,  $^3\text{F}_4$  и  $^3\text{H}_6$  составляют порядка 2–4 максимальных энергий фона решетки матрицы алюмобората иттрия.

Логарифмическая зависимость относительных интенсивностей ИК-люминесценции твердых растворов  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Ho}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ) в области 960–1100 нм при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в диапазоне 940–980 нм от концентрации ионов гольмия представлена на рис. 2. Как и в случае примеси ионов празеодима и тулия, она является нелинейной и убывает на всей протяженности оси логарифма концентраций. При максимальной концентрации ионов  $\text{Ho}^{3+}$  (0,1 атомных долей) интенсивность ИК-люминесценции в области 960–1100 нм составляет порядка 30 % от интенсивности образцов без примеси гольмия. Как видно из рис. 2, тушение

ИК-люминесценции полидисперсных твердых растворов  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Ho_xAl_3(BO_3)_4$  в исследованной области спектра значительно слабее, нежели в случае примеси ионов празеодима. Это может свидетельствовать о малой эффективности передачи энергии возбуждения от ионов донора ( $Yb^{3+}$ ) к ионам акцептора ( $Ho^{3+}$ ). Согласно данным, приведенным в работах [7, 12], энергии штарковских компонентов возбужденных  $^2F_{5/2}$ -уровня иона иттербия и  $^5I_6$ -уровня иона гольмия в матрице алюмобората иттрия находятся в интервалах  $10\ 188\text{--}10\ 645\text{ см}^{-1}$  и  $7530\text{--}8800\text{ см}^{-1}$  соответственно. На основании этого можно сделать вывод, что передача энергии возбуждения от ионов  $Yb^{3+}$  к ионам  $Ho^{3+}$  так же, как в случае примеси тулия, не является резонансной.

Процесс передачи энергии возбуждения между ионами донора и акцептора может быть описан схемой, приведенной на рис. 5. Согласно ей заселение возбужденных уровней примесных ионов  $Ho^{3+}$  при возбуждении лазерным излучением с длиной волны  $940\text{--}980\text{ нм}$  в твердых растворах  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Ho_xAl_3(BO_3)_4$  будет протекать по следующему механизму:

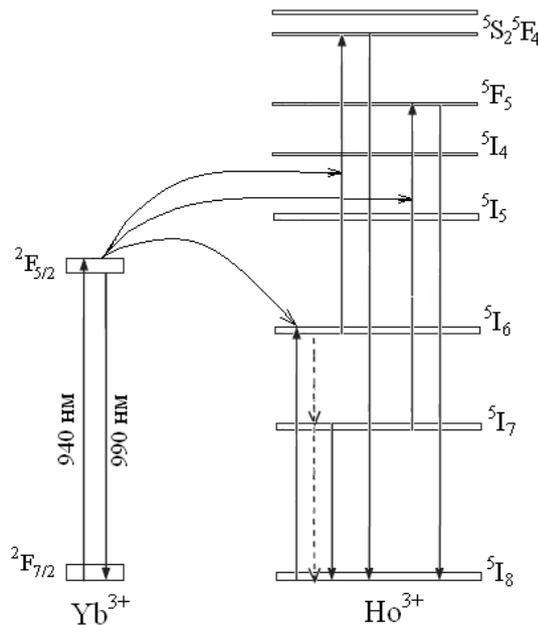
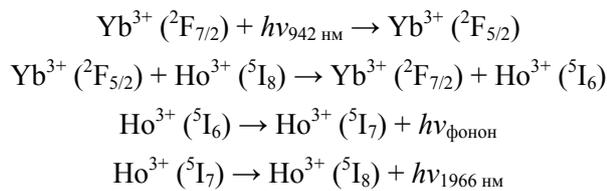
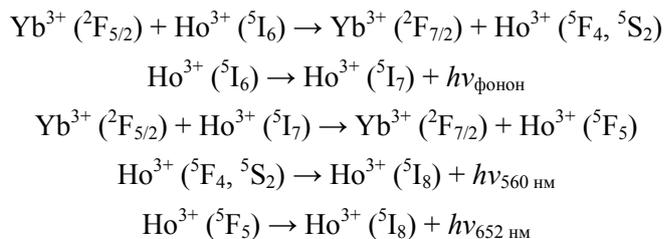


Рис. 5. Схема энергетических уровней и оптических переходов в ионах  $Yb^{3+}$  и  $Ho^{3+}$  [7]

Благодаря процессам ап-конверсии могут быть заселены также верхние возбужденные энергетические уровни иона гольмия, в результате чего у полидисперсных твердых растворов  $Y_{0,85-x}Yb_{0,15}Ho_xAl_3(BO_3)_4$  может наблюдаться люминесценция в видимой области спектра, характерная для ионов гольмия в алюмоборатной матрице [7]:



Согласно схеме, приведенной на рис. 5, твердые растворы  $\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,15}\text{Tm}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  должны иметь люминесценцию в видимой и ИК-области спектра при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в диапазоне 940–980 нм, но на спектрах люминесценции указанных полос обнаружено не было. Данный факт может быть объяснен высокой вероятностью безызлучательных переходов с  ${}^5\text{I}_6$ ,  ${}^5\text{I}_7$ -уровней иона  $\text{Ho}^{3+}$  и как следствие низкой эффективностью оптических переходов и процессов ап-конверсии. Так, энергетические зазоры между  ${}^5\text{I}_6$  и  ${}^5\text{I}_7$ ,  ${}^5\text{I}_7$  и  ${}^5\text{I}_8$  составляют порядка 2–3 максимальных энергий фонона решетки матрицы алюмобората иттрия.

### Заключение

В данной работе изучалось влияние примесей ионов  $\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$  и  $\text{Ho}^{3+}$  на ИК-люминесценцию полидисперсных твердых растворов  $\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  при возбуждении лазерным излучением с длиной волны в интервале 940–980 нм. Были определены зависимости изменения интенсивности ИК-люминесценции  $\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  в области длин волн 960–1100 нм от концентрации ионов  $\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$  и  $\text{Ho}^{3+}$ . В результате анализа зависимостей установлено, что указанные примеси являются тушителями. Причем воздействие ионов празеодима значительно сильнее, нежели ионов тулия или гольмия. Так, уже при концентрации ионов  $\text{Pr}^{3+}$ , равной 0,01 атомных долей, наблюдается тушение ИК-люминесценции  $\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  в области 960–1100 нм примерно в 10 раз.

### Список литературы

1. **Rytz, D.**  $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ : a novel NLO crystal for frequency conversion to UV wavelengths / D. Rytz, A. Gross, S. Vernay, V. Wesemann // Proceedings of the international society for optical engineering. – 2008. – Vol. 6998. – P. 699814-1–12.
2. **Dominiak-Dzik, G.**  $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Yb}\&\text{Tm}$  a nonlinear crystal: Up- and down-conversion phenomena and excited state relaxations / G. Dominiak-Dzik, W. Rybaromanowski, R. Lisiecki, I. Földvári, E. Beregi // Optical Materials. – 2009. – Vol. 31, I. 6. – P. 989–994.
3. **Болдырев, К. Н.** Неэквивалентные центры  $\text{Yb}^{3+}$  в одноцентровых лазерных кристаллах  $\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  / К. Н. Болдырев, М. Н. Попова, Л. Н. Безматерных, М. Беттинелли // Квантовая электроника. – 2011. – Т. 41, № 2. – С. 120–124.
4. **Костюков, С. В.** Изучение люминесцентных свойств  $\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  / С. В. Костюков, О. Я. Манаширов, В. А. Воробьев // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2012. – № 4 (33). – С. 15–18.
5. **Болдырев, К. Н.** Спектроскопическое исследование редкоземельных алюминидных и хромовых боратов со структурой хантита : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.05 / Болдырев К. Н. – Троицк, 2011. – 28 с.
6. **Liu, J.** High-power laser performance of  $\text{Yb}:\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$  crystals cut along the crystallographic axes / J. Liu, X. Mateos, H. Zhang, J. Li, J. Wang, V. Petrov // Journal of Quantum Electronics. – 2007. – Vol. 43, № 5. – P. 385–390.

7. **Li, J.** Growth and optical properties of Ho,Yb:YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> crystal / J. Li, J. Wang, H. Tan, X. Cheng, F. Song, H. Zhang, Sh. Zhao // *Journal of Crystal Growth*. – 2003. – Vol. 256, I. 3–4. – P. 324–327.
8. **Bartl, M. H.** Growth, optical spectroscopy and crystal field investigation of YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> single crystals doped with tripositive praseodymium / M. H. Bartl, K. Gatterer, E. Cavalli, A. Speghini, M. Bettinelli // *Spectrochimica Acta Part A*. – 2001. – Vol. 57. – P. 1981–1990.
9. **Kuck, S.** Avalanche up-conversion processes in Pr, Yb-doped materials / S. Kuck, A. Diening, E. Heumann, E. Mix, T. Sandrock, K. Sebald, G. Huber // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2000. – Vol. 300, 301. – P. 65–70.
10. **Jaque, D.** Nd<sup>3+</sup>→Yb<sup>3+</sup> energy transfer in the YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> nonlinear laser crystal / D. Jaque, M. O. Ramirez, L. E. Bausa, J. G. Sole, E. Cavalli, A. Spheghini, M. Bettinelli // *Physical Review B*. – 2003. – Vol. 68, I. 3. – P. 035118-1–9.
11. **Соколов, А. Э.** Магнитный круговой дихроизм и оптическая спектроскопия иона Tm<sup>3+</sup> в монокристалле TmAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.11 / Соколов А. Э. – Красноярск, 2010. – 23 с.
12. **Baraldi, A.** Hyperfine interactions in YAB:Ho<sup>3+</sup>: A high-resolution spectroscopy investigation / A. Baraldi, R. Capelletti, M. Mazzera, N. Magnani, I. Földvári, E. Beregi // *Physical Review B*. – 2007. – Vol. 76, I. 16. – P. 165130.

### References

1. Rytz D., Gross A., Vernay S., Wesemann V. *Proceedings-spie the international society for optical engineering*. 2008, vol. 6998, pp. 699814-1–12.
2. Dominiak-Dzik G., Ryba-Romanowski W., Lisiecki R., Föld-vári I., Beregi E. *Optical Materials*. 2009, vol. 31, iss. 6, pp. 989–994.
3. Boldyrev K. N., Popova M. N., Bezmaternykh L. N., Bettinelli M. *Kvantovaya elektronika* [Quantum electronics]. 2011, vol. 41, no. 2, pp. 120–124.
4. Kostyukov S. V., Manashirov O. Ya., Vorob'ev V. A. *Vestnik Severo-Kavkazskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of North Caucasus State Technical University]. 2012, no. 4 (33), pp. 15–18.
5. Boldyrev K. N. *Spektroskopicheskoe issledovanie redkozemel'nykh alyuminiyevykh i khromovykh boratov so strukturoy khantita: avtoref. dis. kand. fiz.-mat. nauk* [Spectroscopic research of rare-earth aluminum and chrome borates with huntite structure: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of physical and mathematical sciences]. Troitsk, 2011, 28 p.
6. Liu J., Mateos X., Zhang H., Li J., Wang J., Petrov V. *Journal of Quantum Electronics*. 2007, vol. 43, no. 5, pp. 385–390.
7. Li J., Wang J., Tan H., Cheng X., Song F., Zhang H., Zhao Sh. *Journal of Crystal Growth*. 2003, vol. 256, iss. 3–4, pp. 324–327.
8. Bartl M. H., Gatterer K., Cavalli E., Speghini A., Bettinelli M. *Spectrochimica Acta Part A*. 2001, vol. 57, pp. 1981–1990.
9. Kuck S., Diening A., Heumann E., Mix E., Sandrock T., Sebald K., Huber G. *Journal of Alloys and Compounds*. 2000, vol. 300, 301, pp. 65–70.
10. Jaque D., Ramirez M. O., Bausa L. E., Sole J. G., Cavalli E., Spheghini A., Bettinelli M. *Physical Review B*. 2003, vol. 68, iss. 3, pp. 035118-1–9.
11. Sokolov A. E. *Magnitnyy krugovoy dikhroizm i opticheskaya spektroskopiya iona Tm<sup>3+</sup> v monokristalle TmAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>: avtoref. dis. kand. fiz.-mat. nauk* [Magnet circular dichroism and optical spectroscopy of Tm<sup>3+</sup> ion in TmAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> single crystal: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of physical and mathematical sciences]. Krasnoyarsk, 2010, 23 p.
12. Baraldi A., Capelletti R., Mazzera M., Magnani N., Földvári I., Beregi E. *Physical Review B*. 2007, vol. 76, iss. 16, p. 165130.

**Костюков Сергей Владимирович**

аспирант, Северо-Кавказский  
федеральный университет  
(г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2)

E-mail: oyso2013@yandex.ru

**Kostyukov Sergey Vladimirovich**

Postgraduate student, North Caucasus  
Federal University  
(Stavropol, 2 Kulakova passage)

---

УДК 544.2:[546.273:543.4]

**Костюков, С. В.**

**Исследование влияния примесей празеодима, тулия и гольмия на люминесценцию твердых растворов  $Y_{1-x}Yb_xAl_3(BO_3)_4$  / С. В. Костюков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 77–87.**

## СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЭФИРОВ 3,4-ДИОКСО-1,6-ГЕКСАНДИОВОЙ (КЕТИПИНОВОЙ) КИСЛОТЫ

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* 1,3,4,6-Тетракарбонильные соединения широко используются в органическом синтезе в качестве интермедиатов для синтеза разнообразных практически значимых азиновых систем [1]. Такие тетракарбонильные структуры, как эфиры 3,4-диоксо-1,6-гександиовой (кетипиновой) кислоты, до наших исследований оставались малоизученными. Цель работы – дополнить собственными данными и обобщить известные сведения о строении и способах получения кетипинатов, а также реакциях, приводящих к новым азотосодержащим ациклическим и гетероциклическим производным. *Материалы и методы.* В качестве исходных соединений для получения кетипинатов использовали гидрид натрия, алкилацетаты, диалкилоксалаты и *o*-ксилол как инертную среду. В качестве способа получения кетипинатов был применен модифицированный метод на основе сложноэфирной конденсации. *Результаты.* Разработан двухстадийный способ получения кетипинатов взаимодействием алкилацетатов с диалкилоксалатами в присутствии гидрида натрия. Исследованы особенности строения диалкилкетипинатов, обнаружены неизвестные ранее таутомерные формы. Изучены реакции кетипинатов с *N,N*- и *O,N*-бинуклеофилами, получены новые гетерофункциональные окса- и азапроизводные кетипинатов. Изучена реакция кетипинатов с уксусным ангидридом, выделены новые *O*-ацилпроизводные оксофурана и установлены особенности их строения. *Выводы.* Установлено, что кетипинаты в твердом состоянии и растворах неполярных растворителей представлены бис-хелатной диенольной формой, а в полярных растворителях преобладает тетракетонная форма. Показано, что с производными гидразина кетипинаты образуют продукты линейного строения, а взаимодействие с карбамидом, 1,2-диаминобензолом и 1,2-аминофенолами приводит к гетероциклическим окса- и азапроизводным. Показано, что с уксусным ангидридом кетипинаты взаимодействуют либо с образованием линейных *O*-ацильных систем, либо, в зависимости от условий, образуют *O*-ацилпроизводные оксофурана.

**Ключевые слова:** диалкилкетипинаты, гидразоны, хиноксалины, *O,O*-полуацетали, бензоксазины, имидазолидины, *O*-ацетилноксофураны.

*P. P. Mukovoz, V. O. Koz'minykh*

## THE SYNTHESIS, STRUCTURE AND PROPERTIES OF 3,4-DIOXO-1,6-HEXANEDIOATE (KETIPIC) ACID ESTERS

**Abstract.** *Background.* 1,3,4,6-tetracarbonyl compounds are widely used in organic synthesis as intermediates to produce various practically relevant azine systems [1]. Such tetracarbonyl structures as 3,4-dioxo-1,6-hexanedioate (ketipic) acid esters still remain understudied. The purpose of this paper was to enlarge with our own data and generalize the present data on the structure and production methods of ketipinates as well as to summarize the data on reactions resulting in new nitrogen acyclic and heterocyclic derivatives. *Materials and methods.* Sodium hydride, alkyl acetates and dialkyl oxalates were used as starter compounds while *o*-xylene was used as inert medium. The modified method based on the ester condensation was used to synthesize ketipinates. *Results.* A two-stage ketipinate production process by hydri-

dosodium-catalyzed combination of alkyl acetates with dialkyl oxalates was developed. The peculiarities of dialkyl ketipinate structure were studied, previously unknown tautomeric forms were discovered. The reactions between ketipinates with *N,N*- and *O,N*-bionucleophiles were studied, new heterofunctional oxa- and aza-ketipinate derivatives were produced. The reaction between ketipinates and acetic anhydride was studied, new *O*-acyl oxofuran derivatives were produced and the peculiarities of their structure were established. *Conclusions.* It was discovered that ketipinates in the solid state and in nonpolar solutions are represented by *bis*-chelate dienol form, while in polar solvents tetraketone form is the dominant one. It was demonstrated that ketipinates and hydrazine derivatives form linear structure products, while the combination with urea, 1,2-diaminebenzene, 1,2-aminophenols results in heterocyclic oxa- and aza- derivatives. The study shows that the reaction of ketipinates with acetic anhydride results in either new linear *O*-acyl systems or (subject to provisions) *O*-acyl oxofuran derivatives.

**Key words:** dialkyl ketipinates, hydrazones, quinoxalines, *O,O*-semiacetals, benzoxazines, imidazolidins, *O*-acyloxofurans.

### Введение

1,3,4,6-Тетракарбонильные соединения (ТКС) получили широкое распространение в органическом синтезе в качестве удобных синтонов для синтеза разнообразных практически значимых азиновых систем [1]. Наиболее изученными ТКС являются собственно 1,3,4,6-тетракетоны с 1,6-диарильными и в меньшей степени с 1,6-диалкильными заместителями [2]. В то же время такие тетракарбонильные соединения, как эфиры 3,4-диоксо-1,6-гександиовой (кетипиновой) кислоты, являющиеся сложноэфирными аналогами ТКС, до последнего времени оставались малоизученными. В настоящей работе мы дополнили известные сведения своими собственными данными о строении и способах получения кетипинатов, а также реакциях с нуклеофильными реагентами, приводящих к азотосодержащим ациклическим и гетероциклическим производным.

### 1. Синтез кетипинатов и особенности их строения

Традиционным практически значимым способом получения диалкилкетипинатов (**1**) является взаимодействие алкилацетатов с диалкилоксалатами в присутствии алкоксидов щелочных металлов в инертной среде (абсолютный эфир или тетрагидрофуран) с последующей нейтрализацией реакционной массы растворами минеральных кислот (схема 1, метод А) [3, 4]. Реализация данного способа приводит к незначительным выходам продукта (9–29 %), а также требует трудоемких приемов очистки исходных реактивов.

Нами предложен двухстадийный модифицированный способ получения эфиров 3,4-диоксо-1,6-гександиовой кислоты (**1a-d**) взаимодействием алкилацетатов с диалкилоксалатами в присутствии гидрида натрия в среде *o*-ксилола при длительном нагревании реакционной массы (схема 1, метод Б).

Дополнительной является стадия выделения не растворимых в ксилоле промежуточно образующихся динатриевых производных (**2**), которую осуществляют простым фильтрованием. Соединения (**2**) нейтрализуют охлажденным до –25 °С 15 %-м раствором соляной кислоты, что значительно снижает смолообразование, имеющее место в традиционном методе. Предложенный способ исключает стадию получения алкоксидов и значительно повышает выход целевого продукта (схема 1, табл. 1).

Схема 1. Способы получения килкетипинатов (1)

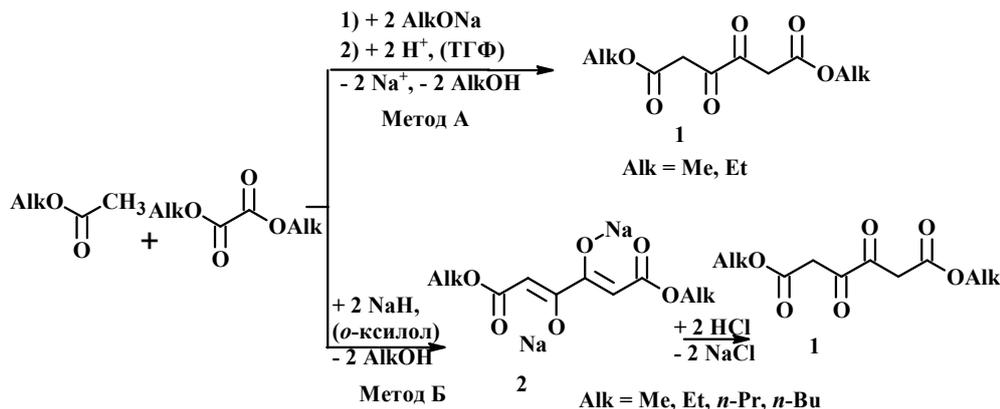


Таблица 1

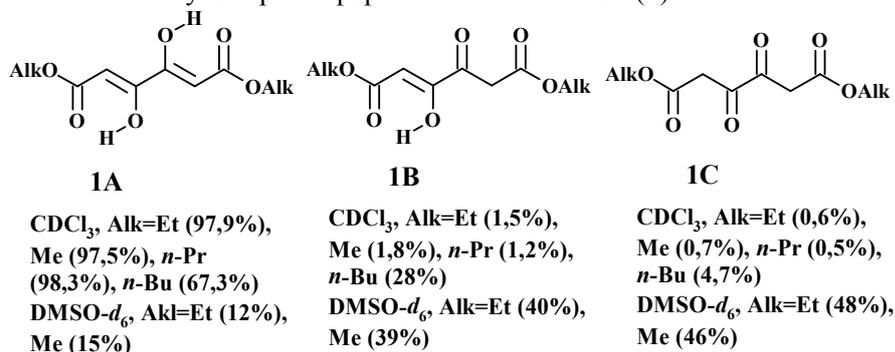
Сравнительные выходы кетипинатов (1),  
получаемых традиционным и модифицированным методами

Alk	Температура плавления °С	Брутто-формула	Выход %	
			Метод А	Метод Б
Me	120–122	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	29*	36
Et	76–77	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	20*	64
<i>n</i> -Pr	62–64	C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>6</sub>	–	19
<i>n</i> -Bu	46–47	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O <sub>6</sub>	–	14

Примечание. \* Литературные данные [4].

Согласно литературным сведениям, а также нашим экспериментальным данным соединения (1) в кристаллическом состоянии и растворах неполярных растворителей (CDCl<sub>3</sub>) существуют в виде *бис*-OH-хелатного таутомера 1A, стабилизированного внутримолекулярной водородной связью (ВВС) [3–5]. Структуру 1A подтверждают низкочастотные сигналы карбонильного поглощения хелатных фрагментов при 1638–1654 см<sup>-1</sup> в ИК спектрах (ваз. масло, КВг), а также моносигналы двух магнитно эквивалентных (*Z*)-ориентированных метиновых протонов, находящиеся в узком интервале химических сдвигов при 5,79–5,87 м.д. в ЯМР<sup>1</sup>H спектрах соединений (1) (схема 2).

Схема 2. Таутомерные формы килкетипинатов (1)



Кроме преобладающего таутомера **1A**, в ЯМР<sup>1</sup>H спектрах соединений (**1**) нами зарегистрированы сигналы неизвестных ранее форм – минорной кетоенольной **1B** и тетракетонной **1C** форм. Присутствие формы **1B** подтверждают моносигнал одного (*Z*)-ориентированного метинового протона монохелатного фрагмента при 5,85–5,92 м.д. и моносигнал двух магнитно эквивалентных протонов метиленовой группы при 3,70–3,80 м.д. в ЯМР<sup>1</sup>H спектрах, а также малоинтенсивные, но высокочастотные сигналы C(4,6)=O карбонильных групп при 1712–1720 см<sup>-1</sup> в ИК спектрах (хлороформ). Присутствие формы **1C** подтверждают моносигнал четырех магнитно эквивалентных протонов двух метиленовых групп при 3,71–3,82 м.д. в ЯМР<sup>1</sup>H спектрах и малоинтенсивное характеристическое поглощение четырех оксогрупп при 1736–1742 см<sup>-1</sup> в ИК спектрах соединений **1** [6].

Увеличение доли форм **1B** и **1C** (схема 2) в растворе дейтерохлороформа у соединений (**1c**, **1d**) можно объяснить возрастающим влиянием + I эффекта алкильных заместителей алкоксизвеньев, ослабляющим эффективный заряд на атомах углерода сложноэфирных карбонильных групп и затрудняющим процесс енолизации.

В растворе диметилсульфоксида преобладает тетракетонная форма **1C**, присутствуют значительные количества кетоенольной формы **1B** и незначительные количества формы **1A**, что подтверждается одновременным присутствием соответствующих сигналов всех трех форм в ЯМР<sup>1</sup>H спектрах (DMSO-*d*<sub>6</sub>). Процесс перехода от термодинамически выгодного таутомера **1A** к кетоформам **1B** и **1C**, вероятно, связан со специфической сольватацией карбонильных групп кетипинатов (**1**) поляными молекулами диметилсульфоксида, что должно препятствовать протонированию атомов кислорода, уменьшая степень енолизации молекулы.

## 2. Нуклеофильные превращения кетипинатов

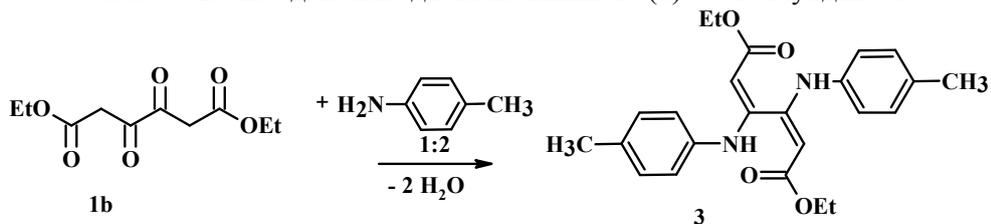
Из литературных источников известны только две нуклеофильные реакции кетипинатов (**1**): с 1,2-диаминобензолом и фенилгидразином [7, 8]. Данные о взаимодействии кетипинатов с ароматическими моноаминами, производными гидразина, карбамида, вицинальными ароматическими диаминами, 1,2-аминофенолами до наших исследований отсутствовали. Нам не удалось выделить индивидуальных продуктов взаимодействия кетипинатов (**1**) с такими аминами, как этиламин, пропиламин, анилин, *n*-нитроанилин, по причине значительного осмоления реакционной массы.

При взаимодействии диэтилкетипината (**1a**) с двукратным избытком *n*-толуидина нами впервые получен этиловый эфир (2*E*,4*E*)-3,4-бис[(4-метилфенил)амино]-2,4-диен-гексан-1,6-диовой кислоты (**3**). Соединение **3** в растворе дейтерохлороформа практически полностью представлено енаминоформой в виде (*E,E*)-изомера, о чем свидетельствует характеристический сильнополюсный сигнал двух магнитно эквивалентных (*E*)-ориентированных протонов при 5,12 м.д. в ЯМР<sup>1</sup>H спектре.

Попытки вовлечь во взаимодействие кетипинаты (**1**) с такими *N,N*- и *O,N*-бинуклеофилами, как гидразин и гидроксилламин, не привели к желаемому результату: либо были выделены исходные реагенты, либо наблюдалось значительное осмоление реакционной массы.

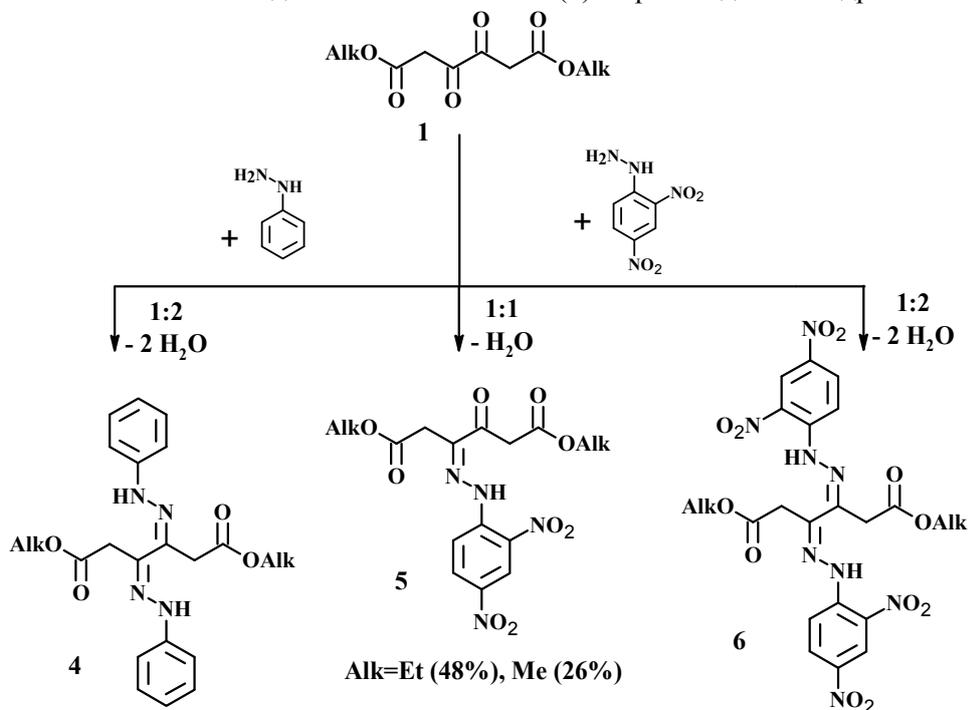
В отличие от гидразина реакции кетипинатов (**1**) с его производными протекают достаточно легко, образуя либо моно-, либо бис-гидразоны линейного строения.

Схема 3. Взаимодействие диэтилкетипината (1) с *n*-толлуидином



Так, взаимодействие кетипинатов (1) с фенилгидразином при незначительном нагревании реагентов в среде этанола приводит к эфирам 3,4-бис-(фенилгидразоно)-1,6-гександиовой кислоты (4). В отличие от енамина (3) соединения (4) существуют в форме гидразонов, о чем свидетельствуют моносигналы четырех магнитно эквивалентных протонов двух метиленовых групп при 3,94 м.д. в ЯМР <sup>1</sup>H спектрах этих соединений. Диэтиловый эфир (4a) был получен ранее, однако особенности его строения подробно не изучались [7]. Сведений о дипропиловом и дибутиловом эфирах (4b, 4c) в литературных источниках нами не обнаружено.

Схема 4. Взаимодействие кетипинатов (1) с производными гидразина



Alk=Et (31%), Pr (26%), Bu (17%)

Alk=Et (30%), Pr (21%), Bu (37%)

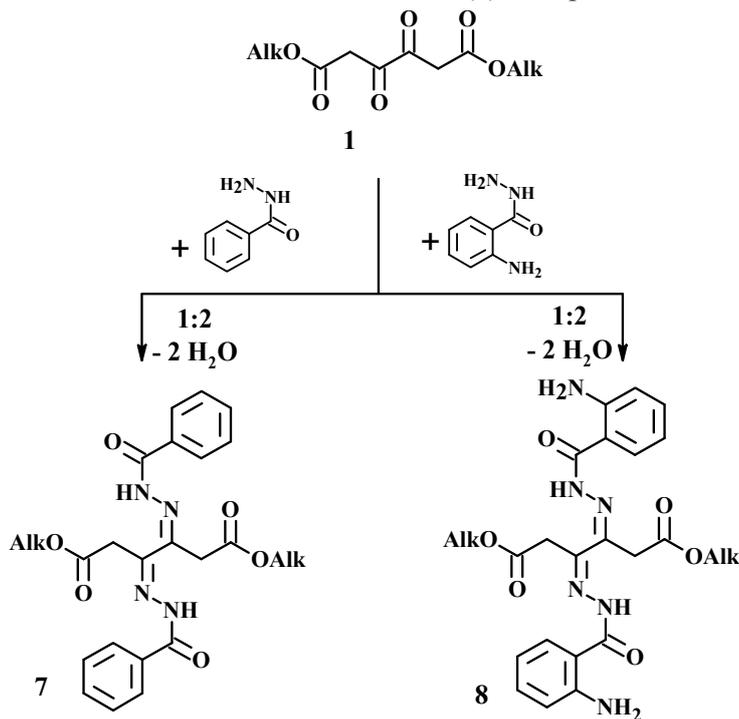
Несколько труднее протекает взаимодействие кетипинатов (1) с 2,4-динитрофенилгидразином (ДНФГ) (схема 4), нуклеофильность которого понижена по сравнению с фенилгидразином, что обусловлено наличием двух сильных акцепторов в ароматическом кольце.

Взаимодействие кетипинатов (1) с ДНФГ в мягких условиях (при непродолжительном нагревании реагентов в смеси этанола и уксусной кислоты) приводит к моногидразонопроизводным – эфирам 3-[2-(2,4-динитрофенил)гидразоно]гексан-1,6-диовой кислоты (5), а в более жестких условиях (при

длительном нагревании реагентов в смеси этанола и уксусной кислоты) к бис-гидразонопроизводным – эфирам 3,4-бис[2-(2,4-динитрофенил)гидразоно]гексан-1,6-диовой кислоты (6). Строение соединений (5) и (6) установлено на основании данных ИК и ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопии [9]. Структуру соединений (5) подтверждают два отдельных сигнала двух неэквивалентных метиленовых групп при 3,84–3,87 м.д. и 3,96–3,98 м.д. в ЯМР  $^1\text{H}$  спектрах, а структуру соединений (6) – сигнал четырех магнитно эквивалентных протонов двух метиленовых групп при 4,03–4,05 м.д. в ЯМР  $^1\text{H}$  спектрах.

С гидразидами бензойной или антралиловой кислот кетипинаты (1) взаимодействуют с образованием бис-гидразонопроизводных линейного строения (схема 5).

Схема 5. Взаимодействие кетипинатов (1) с гидразидами



Alk=Et (58%), Pr (35%), Bu (37%)

Alk=Et (56%), Pr (43%), Bu (37%)

Так, кратковременное нагревание смеси кетипинатов (1) с гидразидом бензойной кислоты в среде этанола приводит к эфирам 3,4-бис-(бензоилгидразоно)гексан-1,6-диовой кислоты (7), о чем свидетельствуют сигналы четырех магнитно эквивалентных протонов двух метиленовых групп при 4,03–4,05 м.д. в ЯМР  $^1\text{H}$  спектрах, а взаимодействие кетипинатов (1) с гидразидом антралиловой кислоты в аналогичных условиях дает эфиры 3,4-бис-(2-аминобензоилгидразоно)гексан-1,6-диовой кислоты (8), что подтверждают сигналы четырех магнитно эквивалентных протонов двух метиленовых групп при 4,08 м.д. в ЯМР  $^1\text{H}$  спектрах [10].

Образование в растворах соединениями (4–8) гидразонов, а не энгидразинов, вероятно, вызвано влиянием электронных пар кислорода алкоксигруппы, снижающим эффективный заряд на сложноэфирных карбонильных группах и уменьшающим кислотные свойства  $\text{C}(2,5)\text{H}_2$  метиленовых групп,

препятствуя процессу енолизации. В случае енамина (3) енолизация молекулы, вероятно, облегчается за счет влияния ароматического кольца, повышающего электронную плотность на атоме азота, вызывая его протонирование.

В отличие от производных гидразина, образующих с кетипинатами (1) линейные продукты, такие *N,N*-бинуклеофилы, как ароматические 1,2-диамины, взаимодействуя с кетипинатами, гетероциклизуются с образованием производных хиноксалина [8, 11–14].

Взаимодействием кетипинатов 1 с 1,2-диаминобензолом в условиях кратковременного нагревания смеси реагентов в среде этанола или этилацетата получены эфиры 2,2'-хиноксалин-2,3-диилдиуксусной кислоты (9) (схема 6), строение которых подтверждают сигналы четырех магнитно эквивалентных протонов двух метиленовых групп при 4,15–4,19 м.д. в ЯМР <sup>1</sup>H спектрах.

Особенностью соединений (9) является отсутствие в их структуре *NH*-хелатных фрагментов, характерных для их близких аналогов, имеющих ацильные звенья в молекуле [15]. Такое строение, вероятно, связано с теми же причинами, что и в соединениях (4–8), имеющих сложноэфирные алкоксизвенья, затрудняющие процесс енолизации.

Аналогичную структуру имеют эфиры 2,2'-бензо[*g*]хиноксалин-2,3-диилдиуксусной кислоты (10), образующиеся при взаимодействии кетипинатов (1) с 2,3-диаминонафталином в аналогичных условиях (схема 6). Строение соединений (10) подтверждают соответствующие сигналы в ИК и ЯМР <sup>1</sup>H спектрах.

Иначе происходит гетероциклизация кетипинатов (1) при действии таких бинуклеофилов, как 2-аминофенолы, приводящая к образованию устойчивых *O,O*-полуацеталей бензоксазинов [16–20]. Так, в результате взаимодействия кетипинатов (1) с 2-аминофенолом в условиях кратковременного нагревания смеси реагентов в среде метанола и каталитических количеств уксусной кислоты нами получены эфиры (2'*Z*)-2,2'-(2-гидрокси-2*H*-1,4-бензоксазин-2-ил-3-илиден)диуксусной кислоты (11) (схема 7). Анализ ИК и двумерных ЯМР <sup>1</sup>H *NOESY*-спектров показывает, что соединения (11) как в кристаллическом состоянии, так и в растворе существуют в (2'*Z*)-форме в виде устойчивых *O,O*-полуацеталей, стабилизированных внутримолекулярной водородной связью протона ацетального гидроксила и сложноэфирной карбонильной группы (CH<sub>2</sub>COOAlk)-фрагментов. Это подтверждают два характеристических сигнала двух магнитно неэквивалентных гемеальных протонов CH<sub>2</sub> группы при 2,87–2,89 м.д. и 2,98–3,00 м.д. (спиновая *AB*-система) с константами спин-спинового взаимодействия *J* 15,2–15,6 Гц, а также моносигнал одного (*Z*)-ориентированного метиленового протона при 5,07–5,35 м.д. и сигнал протона ацетального гидроксила при 6,08–6,21 м.д. в ЯМР <sup>1</sup>H спектрах.

При взаимодействии кетипинатов (1) с 2-амино-5-нитрофенолом в аналогичных условиях образуются эфиры (2'*Z*)-2,2'-[2-гидрокси-7-нитро-2*H*-1,4-бензоксазин-2-ил-3-илиден]диуксусной кислоты (12) (схема 7), являющиеся структурными аналогами соединений (11). Строение соединений (12) установлено на основании ИК и ЯМР <sup>1</sup>H спектров. Внутримолекулярная водородная связь протона ацетального гидроксила со сложноэфирной карбонильной группой в соединениях (12) отсутствует, о чем свидетельствует моносигнал двух магнитно эквивалентных гемеальных протонов (CH<sub>2</sub>COOMe)-фрагмента.

Схема 6. Взаимодействие кетипинатов (1) с 1,2-диаминобензолом и 2,3-диаминонафталином

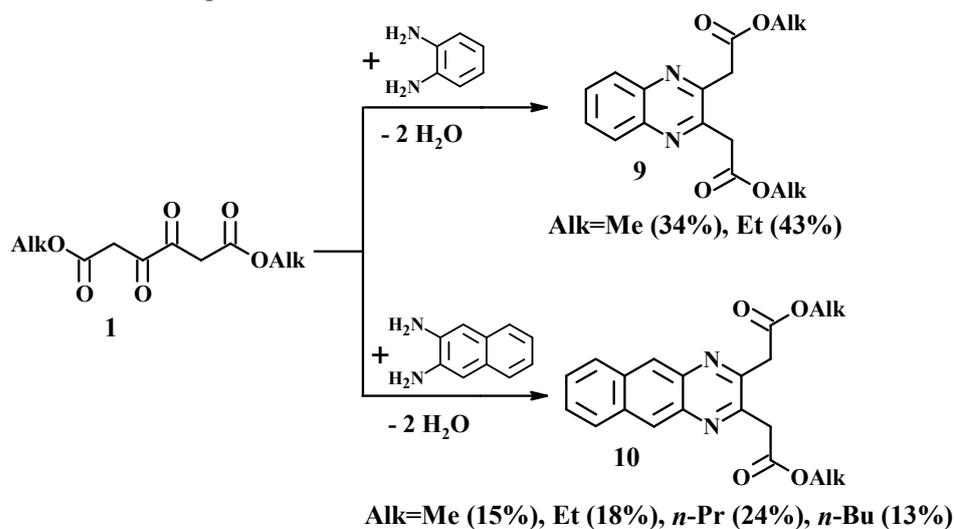
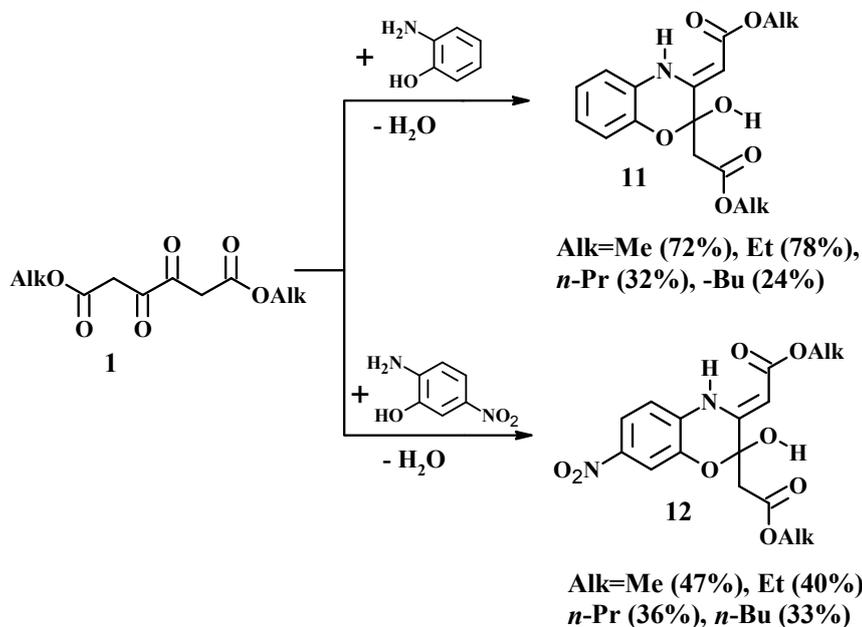
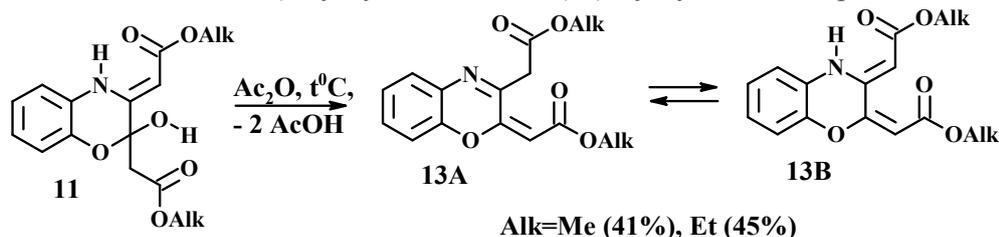


Схема 7. Взаимодействие кетипинатов (1) с 2-аминофенолами



Попытки ацилировать соединения (11) не привели к ожидаемому результату. В результате длительного нагревания соединений (11) с уксусным ангидридом нами выделены эфиры (2*E*,2'*Z*)-2,2'-(2*H*-1,4-бензоксазин-2,3-диилиден)диуксусной кислоты (13), представляющие собой продукт дегидратации полуацеталей (схема 8) [21]. Согласно данным ИК спектров в кристаллическом состоянии бензоксазины (13) существуют в форме экзоэтиленовых (2*E*,2'*Z*-экзо-С=C-) изомеров 13А, что подтверждают интенсивные сигналы поглощения при 1715–1724 см<sup>-1</sup>, соответствующие несопряженным С(1,1')=О группам.

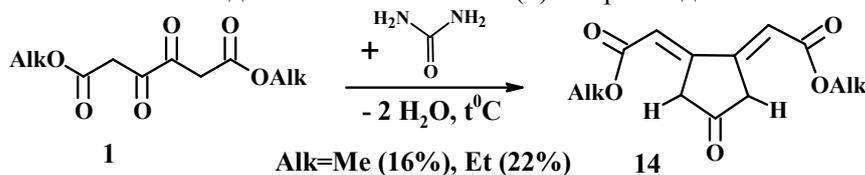
Схема 8. Взаимодействие эфиров (2'*Z*)-2,2'-(2-гидрокси-2*H*-1,4-бензоксазин-2-ил-3-илиден)диуксусной кислоты (**11**) с уксусным ангидридом



В растворе бензоксазины (**13**) представлены смесью двух изомеров – преобладающего изомера **13В** с одним NH-хелатным фрагментом, стабилизированным ВВС, и минорного изомера **13А**. О присутствии изомера **13В** свидетельствует характеристический сигнал (*E*)-ориентированного метинового протона С(2')Н-группы при 5,27–5,30 м.д. и сигнал (*Z*)-ориентированного протона С(2)Н-группы при 5,27–5,30 м.д. в ЯМР <sup>1</sup>Н спектрах. Наличие изомера **13А** подтверждается сигналом двух магнитно эквивалентных протонов одной метиленовой группы при 3,68–3,69 м.д. и сигналом одного (*E*)-ориентированного протона метиновой группы при 5,42–5,45 м.д.

Нам удалось осуществить взаимодействие кетипинатов (**1**) с таким слабым бинуклеофилом, как карбамид, проводя реакцию в жестких условиях путем сплавления смеси реагентов. В результате были выделены эфиры (2*E*,2'*E*)-2,2'-(2-оксоимидазолидин-4,5-диилиден)диуксусной кислоты (**14**) (схема 9), структуру которых подтверждают моносигналы двух магнитно эквивалентных (*E*)-ориентированных протонов двух метиновых групп при 5,55–5,57 м.д. в ЯМР <sup>1</sup>Н спектрах [14, 22].

Схема 9. Взаимодействие кетипинатов (**1**) с карбамидом



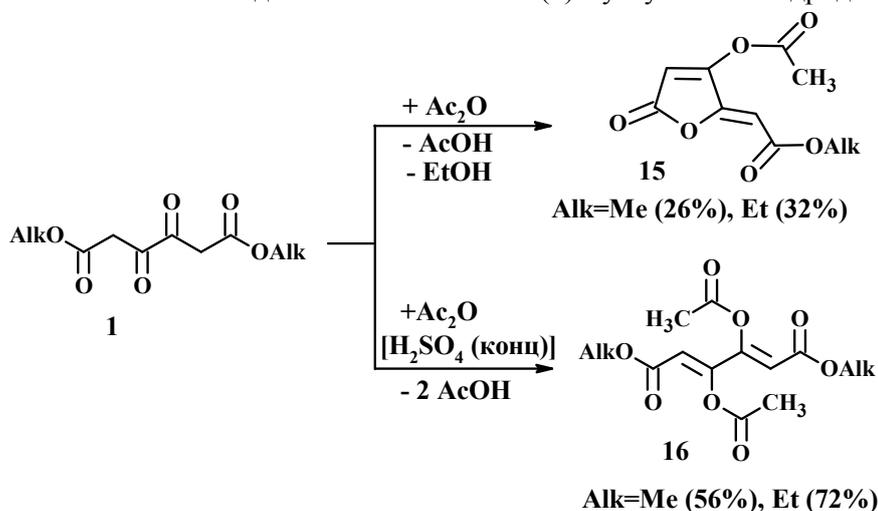
### 3. Электрофильные превращения кетипинатов

Рассмотренные в настоящей работе нуклеофильные превращения кетипинатов обусловлены наличием в их молекулах нескольких электрофильных центров. Однако в *бис*-хелатной форме кетипинаты сами являются своеобразными нуклеофилами, обладая двумя гидроксильными енольными группами, которые могут быть атакованы электрофильными реагентами [23, 24]. Ацилирование диалкилкетипинатов (**1**) уксусным ангидридом в зависимости от условий может приводить к различным продуктам.

При длительном нагревании кетипинатов (**1**) в среде уксусного ангидрида образуются *O*-ацетильные производные оксофурана – эфиры (2*Z*)-[3-(ацетилокси)-5-оксофуран-2(5*H*)-илиден]уксусной кислоты (**15**) (схема 10), что подтверждается наличием сигнала трех протонов метильной группы *O*-ацильного звена при 2,38 м.д., сигналом одного метинового протона оксофуранового гетероцикла при 5,69–5,70 м.д. и сигналом одного (*Z*)-ориентированного протона илиденного звена при 6,45–6,46 м.д. в ЯМР <sup>1</sup>Н спектрах.

Образование продуктов (**15**), вероятно, происходит по классическому механизму *O*-ацилирования с последующим элиминированием молекулы спирта в процессе внутримолекулярной гетероциклизации и образованием фуранового гетероцикла.

Схема 10. Взаимодействие кетипинатов (**1**) с уксусным ангидридом



При взаимодействии кетипинатов (**1**) с уксусным ангидридом на холоду в присутствии каталитических количеств концентрированной серной кислоты образуются диалкиловые эфиры 3,4-диацетилокси-1,6-гександиовой кислоты (**16**) линейного строения (схема 10). Такое строение подтверждается присутствием в ЯМР  $^1\text{H}$  спектрах сигнала шести магнитно эквивалентных протонов двух метильных групп *O*-ацильного звена при 2,34–2,36 м.д. и моно сигнала двух метиновых протонов при 6,47–6,50 м.д. [25].

### Заключение

Рассмотренные реакции и разработанные нами способы получения неизвестных ранее оксопроизводных фурана, имидазолидина, 1,4-бензоксазина, хиноксалина и других соединений могут найти целевое применение в синтезе различных азотосодержащих гетерофункциональных соединений с полезными технологическими и биологическими свойствами.

### Список литературы

1. **Козьминых, В. О.** Конденсация Клайзена метилкетонов с диалкилоксалатами в синтезе биологически активных карбонильных соединений: Обзор. Ч. 1 / В. О. Козьминых, В. И. Гончаров, Е. Н. Козьминых, И. Н. Ноздрин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2007. – № 3. – С. 112–122.
2. **Козьминых, В. О.** Конденсация Клайзена метилкетонов с диалкилоксалатами в синтезе биологически активных карбонильных соединений: Обзор. Ч. 2 / В. О. Козьминых, В. И. Гончаров, Е. Н. Козьминых // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2007. – Вып. 4 (68). – С. 121–129.
3. **Franzen, H.** Die Bildung der Citronensäure aus Ketipinsäure / H. Franzen, F. Schmitt // Berichte. – 1925. – Bd 58. – S. 222–226.
4. **Löw, N.** Polynukleare *Metal*(II)-Chelatkomplexe durch spontane Selbstorganisation: *metalla*-Kronenether und ihre Einschluß-Komplexe, tetranukleare und octanukleare *Metal*-Chelate: Dissertation / N. Löw. – Erlangen-Nürnberg : Institut für Organische Chemie der Friedrich-Alexander-Universität, 1997. – 102 s.

5. **Козьминых, В. О.** 1,3,4,6-Тетракарбонильные системы. Сообщение 9. Диэтилкетипинат: синтез, особенности строения и взаимодействие с 1,2-диаминобензолом / В. О. Козьминых, П. П. Муковоз, Е. А. Кириллова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – Вып. 5. – С. 155–166.
6. **Муковоз, П. П.** Синтез и особенности строения эфиров 3,4-дигидрокси-1,6-гександиовой кислоты / П. П. Муковоз, В. О. Козьминых, О. Н. Дворская // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. ИГХТУ. – 2011. – Т. 54, № 5. – С. 96–100.
7. **Fittig, R.** Ueber die Diacetyldicarbonsäure (Ketipinsäure) und das Diacetyl / R. Fittig, C. Daimler, H. Keller // Liebigs Annalen der Chemie. – 1888. – Bd 249. – S. 182–214.
8. **Stachel, H.-D.** Synthese einiger Derivate der 3,4-Diketo-adipinsäure 7. Mitt. über Ketten-Derivate / H.-D. Stachel // Archiv der Pharmazie. – 1962. – Bd 295, № 10. – S. 735–744.
9. **Муковоз, П. П.** Взаимодействие диалкилкетипинатов с 2,4-динитрофенилгидразином / П. П. Муковоз, В. О. Козьминых // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. «Химия». – 2009. – № 23 (156), вып. 2. – Челябинск, 2009. – С. 4–8.
10. **Муковоз, П. П.** Взаимодействие диалкилкетипинатов с гидразидом антралиновой кислоты / П. П. Муковоз, В. О. Козьминых // Многопрофильный университет как региональный центр образования и науки : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Оренбург. гос. ун-т, 20–22 мая 2009 г.). – Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – С. 2304–2307.
11. **Козьминых, В. О.** 1,3,4,6-Тетракарбонильные системы. Сообщение 9. Диэтилкетипинат: синтез, особенности строения и взаимодействие с 1,2-диаминобензолом / В. О. Козьминых, П. П. Муковоз, Е. А. Кириллова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – Вып. 5. – С. 155–166.
12. **Муковоз, П. П.** Простой одnoreакторный синтез 2,2'-хиноксалин-2,3-диилдиациетатов / П. П. Муковоз, О. Г. Карманова, Е. Н. Козьминых, В. О. Козьминых // Башкирский химический журнал. – 2012. – № 2. – С. 12–15.
13. **Муковоз, П. П.** Синтез, особенности строения этилового эфира 3,4-дигидроксо-1,6-гександиовой кислоты и его гетерофункциональных производных / П. П. Муковоз, В. О. Козьминых // Инновационные процессы в области химико-педагогического и естественнонаучного образования : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Оренбург, 16–17 февраля 2009 г.). – Оренбург : Изд-во Оренбург. гос. пед. ун-та, 2009. – Т. 1. – С. 231–234.
14. Новые достижения в синтезе оксоилиденпроизводных имидазола, 1,4-бензоксазина и хиноксалина / П. П. Муковоз [и др.] // Новые направления в химии гетероциклических соединений : материалы Международ. конф. (Кисловодск, 3–8 мая 2009 г.). – Кисловодск, 2009. – С. 392–393.
15. **Карманова, О. Г.** Синтез и строение 2,3-бис-(2-оксоалкилиден)-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалинов / О. Г. Карманова, П. П. Муковоз, В. О. Козьминых, Е. Н. Козьминых // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. ИГХТУ. – 2013. – Т. 56, вып. 3. – С. 3–7.
16. **Муковоз, П. П.** Синтез и строение необычного производного 2-гидрокси-3-илиден-2*H*-1,4-бензоксазина – продукта трехкомпонентной tandemной конденсации / В. О. Козьминых, П. П. Муковоз // Многопрофильный университет как региональный центр образования и науки : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Оренбургский гос. ун-т, 20–22 мая 2009 г.). – Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – С. 2300–2303.
17. **Муковоз, П. П.** Синтез и особенности строения диэфиров (2'*Z*)-2,2'-(2-гидрокси-2*H*-1,4-бензоксазин-2-ил-3-илиден)диациетатов / П. П. Муковоз, В. О. Козьминых // Актуальные проблемы современной науки. Сер. «Естественные науки».

- Ч. 8. Органическая химия : тр. 10-й Междунар. конф. (Самара, 16–18 дек. 2009 г.). – Самара : Изд-во Самар. гос. обл. ун-та, 2009. – С. 32–36.
18. Синтез и особенности строения 2-гидрокси-3-илиден-2*H*-1,4-бензоксазина – продукта трехкомпонентной оксалильной конденсации / П. П. Муковоз [и др.] // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук : материалы Второй междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 15–25 января 2010 г.). – М. : ООО «Открытое право», 2010. – Т. II. – С. 31–33.
19. **Муковоз, П. П.** Химия азиновых наноструктур на основе эфиров 3,4-диоксо-1,6-гександиовой кислоты / П. П. Муковоз, В. О. Козьминых // Полифункциональные наноматериалы и нанотехнологии : материалы Всерос. с междунар. участием конф., посв. 130-летию Томск. гос. ун-та (Томск, 19–22 сент. 2008 г.). – Томск : Изд-во Томского гос. ун-та, 2008. – Т. 2. – С. 55–57.
20. Трех- и тетракомпонентные оксалильные конденсации в синтезе кислород- и азот-содержащих гетероциклов / П. П. Муковоз [и др.] // Новые направления в химии гетероциклических соединений : материалы Междунар. конф. (Кисловодск, 3–8 мая 2009 г.). – Кисловодск, 2009. – С. 124–126.
21. **Муковоз, П. П.** Новый простой метод получения 2,2'-(2*H*-1,4-бензоксазин-2,3-диилиден)диацетатов / П. П. Муковоз, В. О. Козьминых, О. Н. Дворская // Башкирский химический журнал. – 2010. – Т. 17, № 3. – С. 23–24.
22. Синтез 2,2'-(2-оксоимидазолидин-4,5-диилиден)диацетатов / П. П. Муковоз [и др.] // Химия гетероциклических соединений. – 2010. – № 8 (518). – С. 1262–1264.
23. **Stachel, H.-D.** Die Struktur der Ketipinsäure und ihrer Derivate / H.-D. Stachel // Liebigs Annalen der Chemie. – 1965. – Bd 689. – S. 118–126. – Chemical Abstracts. – 1966. – Vol. 64. – № 5.
24. **Stachel, H.-D.** Über  $\gamma$ -Alkyliden-tetronsäuren, I / H.-D. Stachel // Archiv der Pharmazie. – 1963. – Bd. 296, № 7. – S. 479–487.
25. **Stachel, H.-D.** Über  $\gamma$ -Alkylidentetronsäuren: 2. Mitt / H.-D. Stachel // Archiv der Pharmazie. – 1965. – Bd. 298, № 7. – S. 447–453.

### References

1. Koz'minykh V. O., Goncharov V. I., Koz'minykh E. N., Nozdrin I. N. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. 2007, no. 3, pp. 112–122.
2. Koz'minykh V. O., Goncharov V. I., Koz'minykh E. N. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. 2007, iss. 4 (68), pp. 121–129.
3. Franzen H., Schmitt F. *Berichte* [Report]. 1925, iss. 58, pp. 222–226.
4. Löw N. *Polynukleare Metall(II)-Chelatkomplexe durch spontane Selbstorganisation: metalla-Kronenether und ihre Einschluß-Komplexe, tetranukleare und octanukleare Metall-Chelate: Dissertation* [Polynuclear metal (II) chelate complexes by spontaneous self-organization: metall-crown ethers and their inclusion complexes, tetra nuclear and octa nuclear metal chelates: Dissertation], Erlangen-Nürnberg: Institut für Organische Chemie der Friedrich-Alexander-Universität, 1997, 102 p.
5. Koz'minykh V. O., Mukovoz P. P., Kirillova E. A. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. 2009, iss. 5, pp. 155–166.
6. Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O., Dvorskaya O. N. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. IGKhTU* [University proceedings. Chemistry and chemical technology. Ivanovo State Chemical-Engineering University]. 2011, vol. 54, no. 5, pp. 96–100.
7. Fittig R., Daimler C., Keller H. *Liebigs Annalen der Chemie* [Liebigite annals in chemistry]. 1888, vol. 249, pp. 182–214.
8. Stachel H.-D. *Archiv der Pharmazie* [Pharmacy archives]. 1962, vol. 295, no. 10, pp. 735–744.

9. Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Khimiya»* [Bulletin of South Ural State University. Series "Chemistry"]. 2009, no. 23 (156), iss. 2, pp. 4–8.
10. Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O. *Mnogoprofil'nyy universitet kak regional'nyy tsentr obrazovaniya i nauki: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (Orenburg. gos. un-t, 20–22 maya 2009 g.)* [Multiprofile university as a regional center of education and research: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (Orenburg State University, 20–22 May 2009)]. Orenburg: IPK GOU OGU, 2009, pp. 2304–2307.
11. Koz'minykh V. O., Mukovoz P. P., Kirillova E. A. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. 2009, iss. 5, pp. 155–166.
12. Mukovoz P. P., Karmanova O. G., Koz'minykh E. N., Koz'minykh V. O. *Bashkirskiy khimicheskii zhurnal* [Bashkiria chemical journal]. 2012, no. 2, pp. 12–15.
13. Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O. *Innovatsionnye protsessy v oblasti khimiko-pedagogicheskogo i estestvennonauchnogo obrazovaniya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (Orenburg, 16–17 fevralya 2009 g.)* [Innovative processes in chemical-pedagogical and natural scientific education: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (Orenburg, 16–17 February 2009)]. Orenburg: Izd-vo Orenburg. gos. ped. un-ta, 2009, vol. 1, pp. 231–234.
14. Mukovoz P. P. et al. *Novye napravleniya v khimii geterotsiklicheskih soedineniy: materialy Mezhdunarod. konf. (Kislovodsk, 3–8 maya 2009 g.)* [New tendencies in chemistry of heterocyclic compounds: proceedings of the International conference (Kislovodsk, 3–8 May 2009)]. Kislovodsk, 2009, pp. 392–393.
15. Karmanova O. G., Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O., Koz'minykh E. N. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. IGKhTU* [University proceedings. Chemistry and chemical technology. Ivanovo State Chemical-Engineering University]. 2013, vol. 56, iss. 3, pp. 3–7.
16. Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O. *Mnogoprofil'nyy universitet kak regional'nyy tsentr obrazovaniya i nauki: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (Orenburgskiy gos. un-t, 20–22 maya 2009 g.)* [Multiprofile university as a regional center of education and research: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (Orenburg State University, 20–22 May 2009)]. Orenburg: IPK GOU OGU, 2009, pp. 2300–2303.
17. Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki. Ser. «Estestvennye nauki». Ch. 8. Organicheskaya khimiya: tr. 10-y Mezhdunar. konf. (Samara, 16–18 dek. 2009 g.)* [Topical problems of modern science. Series "Natural sciences". Part 8. Organic chemistry: proceedings of 10<sup>th</sup> International conference (Samara, 16–18 December 2009)]. Samara: Izd-vo Samar. gos. obl. un-ta, 2009, pp. 32–36.
18. Mukovoz P. P. et al. *Sovremennye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk: materialy Vtoroy mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. (Moskva, 15–25 yanvarya 2010 g.)* [Modern problems of humanities and natural sciences: proceedings of II International scientific and practical conference (Moscow, 15–25 January 2010)]. Moscow: OOO «Otkrytoe pravo», 2010, vol. II, pp. 31–33.
19. Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O. *Polifunksional'nye nanomaterialy i nanotekhnologii: materialy Vseros. s mezhdunar. uchastiem konf., posv. 130-letiyu Tomsk. gos. un-ta (Tomsk, 19–22 sent. 2008 g.)* [Polyfunctional nanomaterials and nanotechnologies: proceedings of the All-Russian conference with international participation commemorating 130<sup>th</sup> anniversary of Tomsk State University (Tomsk, 19–22 September 2008)]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gos. un-ta, 2008, vol. 2, pp. 55–57.
20. Mukovoz P. P. et al. *Novye napravleniya v khimii geterotsiklicheskih soedineniy: materialy Mezhdunar. konf. (Kislovodsk, 3–8 maya 2009 g.)* [New tendencies in chemistry of heterocyclic compounds: proceedings of the International conference (Kislovodsk, 3–8 May 2009)]. Kislovodsk, 2009, pp. 124–126.
21. Mukovoz P. P., Koz'minykh V. O., Dvorskaya O. N. *Bashkirskiy khimicheskii zhurnal* [Bashkiria chemical journal]. 2010, vol. 17, no. 3, pp. 23–24.

22. Mukovoz P. P. et al. *Khimiya geterotsiklicheskih soedineniy* [Chemistry of heterocyclic compounds]. 2010, no. 8 (518), pp. 1262–1264.
23. Stachel H.-D. *Liebigs Annalen der Chemie* [Liebigite annals in chemistry]. 1965, vol. 689, pp. 118–126.
24. Stachel H.-D. *Archiv der Pharmazie* [Pharmacy archives]. 1963, vol. 296, no. 7, pp. 479–487.
25. Stachel H.-D. *Archiv der Pharmazie* [Pharmacy archives]. 1965, vol. 298, no. 7, pp. 447–453.

---

**Муковоз Петр Петрович**

кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения Российской академии наук (г. Оренбург, ул. Пионерская, 11)

E-mail: mpp27@mail.ru

**Mukovoz Petr Petrovich**

Candidate of chemical sciences, leading researcher, Institute of Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, 11 Pionerskaya str.)

**Козьминых Владислав Олегович**

доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии, Пермский государственный педагогический университет (г. Пермь, ул. Сибирская, 24)

E-mail: kvoncstu@yahoo.com

**Koz'minykh Vladislav Olegovich**

Doctor of chemical sciences, professor, head of sub-department of chemistry, Perm State Pedagogical University (Perm, 24 Sibirskaya str.)

---

УДК 547.341+547.725

**Муковоз, П. П.**

**Синтез, строение и свойства эфиров 3,4-диоксо-1,6-гександиовой (кетипиновой) кислоты / П. П. Муковоз, В. О. Козьминых // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 88–101.**

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ЦИНКА ИЗ ЭЛЕКТРОЛИТА, СОДЕРЖАЩЕГО МОЛОЧНУЮ КИСЛОТУ

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Экологическая опасность современного гальванического производства приводит к необходимости создания электролитов нового поколения – низкоконцентрированных растворов, позволяющих получать качественные покрытия с необходимым комплексом физико-механических и электрических свойств, производительность которых не ниже, чем в существующих высококонцентрированных электролитах. *Материалы и методы.* Исследовали влияние концентрации ионов цинка, молочной кислоты в растворе, pH, температуры, плотности тока и перемешивания электролита на катодный выход по току и качество покрытий. *Результаты.* Разработан состав электролита и предложены оптимальные режимы электролиза, позволяющие получать качественные покрытия цинком с катодным выходом по току 55–65 % и скоростью осаждения 4–13 мкм/ч. *Выводы.* Предлагаемый электролит сравнительно дешев, прост в приготовлении и корректировке, не уступает по производительности применяемым в настоящее время слабокислым электролитам цинкования. Молочная кислота, применяемая в электролите, является малотоксичной, биоразлагаемой, дешевой и доступной добавкой.

**Ключевые слова:** цинковые покрытия, молочная кислота, защита от коррозии, электроосаждение, электролит.

*Yu. P. Perelygin, S. Yu. Kireev, N. V. Yagnichenko*

## THE ELECTROCHEMICAL DEPOSITION OF ZINC FROM AN ELECTROLYTE CONTAINING LACTIC ACID

**Abstract.** *Background.* The environmental hazards of the modern electroplating create a demand for a new generation of electrolytes – weak solutions which produce quality coatings with the required set of physical, mechanical and electrical properties, the performance of which is no lower than that of the existing strong electrolytes. *Materials and methods.* The effect of zinc ion concentration, lactic acid in solution, pH, temperature, current density and electrolyte agitation on the cathode current efficiency and the quality of coatings has been investigated. *Results.* The electrolyte composition has been elaborated and optimal electrolysis modes, allowing us to obtain high quality zinc coatings with the cathode current efficiency of 55–65 %, and the deposition rate of 4–13  $\mu\text{m/h}$  have been offered. *Conclusions.* The proposed electrolyte is relatively cheap, easy to produce and adjust, its performance is not inferior to the currently applicable subacid galvanization electrolytes. Lactic acid used in the electrolyte is a low toxic, biodegradable, cheap and readily available additive.

**Key words:** zinc coatings, lactic acid, corrosion protection, electrodeposition, electrolyte.

### Введение

Современная машино- и приборостроительная промышленность располагает достаточно большим выбором электролитов цинкования (цианидные, цинкатные, кислые, слабокислые, аммиакатные, пирофосфатные и др.) [1, 2].

Причем наиболее распространенными являются слабокислые электролиты, работающие в диапазоне рН 4,5–6,5 [3]. Данные растворы применяют для цинкования деталей, изготовленных как из малоуглеродистых, так и закаленных высокоуглеродистых сталей и чугуна.

При анализе составов данных электролитов можно выделить следующие недостатки:

– высокую концентрацию ионов цинка в растворе (45–68 г/л в пересчете на металл), что приводит к значительным воздушным выбросам и отходам со сточными водами;

– высокое содержание добавок – органических веществ, делающее электролит опасным как с экологической, так и с санитарно-гигиенической точки зрения, а также приводящее к значительному пенообразованию при перемешивании электролита сжатым воздухом;

– наличие в составе многих слабокислых электролитов ионов аммония, которые усугубляют проблему очистки сточных вод не только из-за токсичности ионов аммония и аммиака, но и за счет высокой прочности аммиакатных комплексов цинка;

– содержание хлоридов приводит к выделению хлора на анодах и накоплению продуктов его взаимодействия с компонентами раствора.

Таким образом, проблема разработки электролита, лишённого вышеперечисленных недостатков и позволяющего получать покрытия высокого качества с наименьшими экономическими затратами, является весьма актуальной.

Экологическая опасность современного гальванического производства приводит к необходимости создания электролитов нового поколения – низкоконцентрированных растворов, позволяющих получать качественные покрытия с необходимым комплексом физико-механических и электрических свойств, производительность которых не ниже, чем в существующих высококонцентрированных электролитах [2].

Для сравнительной оценки экологической опасности применяемых электролитов можно использовать экологический критерий (ЭК), предложенный в [4, 5], который определяется как отношение конечной концентрации компонента раствора в сбрасываемой (очищенной) воде ( $C_{\text{кон}}$ ) к его ПДК в воде рыбохозяйственных водоемов либо прямо пропорционально зависит от концентрации компонента в технологическом растворе ( $C_0$ ), кратности разбавления промывными водами выносимого из ванны раствора ( $q/Q$ ) и обратно пропорционально зависит от степени очистки сточных вод ( $\alpha$ ):

$$\text{ЭК} = \frac{C_{\text{кон}}}{\text{ПДК}} = \frac{C_0}{\text{ПДК}} \cdot \frac{q}{Q} \cdot (1 - \alpha). \quad (1)$$

Чем больше экологический критерий, тем большую экологическую опасность представляет тот или иной технологический раствор, гальванический цех.

Одним из способов снижения экологической опасности гальванического производства является разработка и внедрение наиболее безопасных с экологической точки зрения электролитов. Этого можно достичь несколькими путями, например:

– снижением концентрации ионов металла в растворе (как видно из уравнения (1) снижение содержания иона в растворе прямо пропорционально уменьшает его экологическую опасность);

- заменой лигандов и других добавок на более безопасные (ПДК которых больше) и биоразлагаемые;
- повышением эффективности очистки сточных вод и возвратом воды в производство.

На основании изложенных выше соображений для снижения экологической опасности технологии цинкования нами был разработан разбавленный по ионам цинка слабокислый электролит с добавкой молочной кислоты.

Молочная кислота применяется как пищевая добавка [6] при производстве кондитерских изделий, в производстве мяса и мясопродуктов, безалкогольных напитков, пива и кваса, при консервировании плодов и овощей, а также в ветеринарии и птицеводстве. ПДК молочной кислоты в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования 0,9 мг/л. Немаловажными достоинствами молочной кислоты являются ее легкая доступность, особенно в регионах с развитой пищевой промышленностью, и сравнительная дешевизна (по сравнению с другими гидроксикарбоновыми кислотами).

### **Методика исследования**

Определение оптимального состава электролита и режима электролиза проводили в прямоугольной, термостатируемой ячейке емкостью 0,2 л с применением в качестве катода медных пластин площадью  $4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  и графитовых анодов. Подготовка катода проводилась в соответствии с требованиями [2]. Выработка электролита по ионам металла не превышала 5 %. Определение диапазона плотности тока, в пределах которого при данных температуре и составе электролита получают качественные покрытия, проводилось в ячейке Хулла.

Выход по току определяли с использованием цифрового кулонометра [7], кислотность (рН) электролита – рН-метром-ионометром И-160 с точностью  $\pm 0,05 \%$ .

### **Результаты и обсуждение**

Как показали предварительные исследования, выполненные в ячейке Хулла, из раствора, содержащего сульфата цинка (на металл) 12 г/л, молочной кислоты (80 %-й раствор) 20 мл/л, при рН, равном 2, и температуре 20 °С, ровные, матовые, светло-серые покрытия цинком осаждаются в интервале плотностей тока от 0,5 до 4,0 А/дм<sup>2</sup>.

Дальнейшие исследования влияния состава раствора и режима электролиза проводили из электролита, содержащего сульфата цинка (на металл) 5,6 г/л, молочной кислоты (80 %-й раствор) 20 мл/л, при рН, равном 2,0, плотности тока 1 А/дм<sup>2</sup> и температуре 20 °С, за исключением оговоренных ниже случаев.

Увеличение концентрации молочной кислоты от 5 до 40 мл/л практически не влияет на катодный выход по току цинка, который при плотности тока 1,0 А/дм<sup>2</sup> равен 64–68 % (рис. 1, кривая 1).

Повышение концентрации в растворе ионов цинка от 1,5 до 12 г/л и рН раствора от 1 до 4 приводит к увеличению катодного выхода по току цинка от 30 до 77 % (рис. 1, кривая 2) и от 31 до 94 % (рис. 1, кривая 3) соответственно. При рН выше 5 электролит теряет устойчивость и происходит выпадение осадка.

Повышение плотности катодного тока от 0,1 до 0,5 А/дм<sup>2</sup> способствует увеличению выхода по току цинка от 20 до 67 % (рис. 1, кривая 4), тогда как дальнейшее увеличение плотности тока до 4 А/дм<sup>2</sup> приводит к снижению выхода по току до 27 %.

Перемешивание электролита магнитной мешалкой или изменение температуры по-разному оказывают влияние на катодный выход по току цинка, что зависит от плотности катодного тока, при котором осуществляется измерение. Так, при плотности тока 3 и 4 А/дм<sup>2</sup> без перемешивания катодный выход по току равен 35 и 27 %, а при перемешивании – 67 и 64 % соответственно, т.е. выход по току увеличился более чем в два раза. Однако перемешивание электролита при плотности тока менее 0,5 А/дм<sup>2</sup> приводит к снижению катодного выхода по току цинка на 5–10 %.

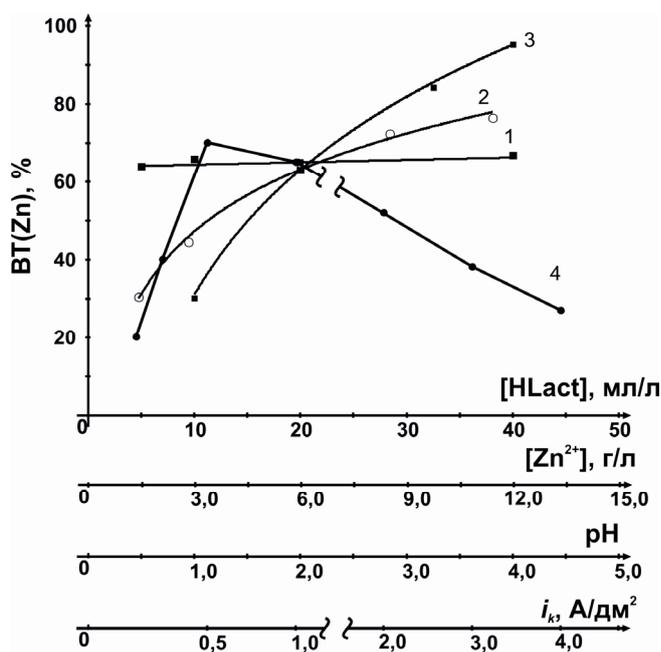
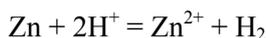


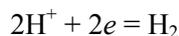
Рис. 1. Зависимость катодного ВТ цинка от концентрации молочной кислоты (1), ионов цинка в электролите (2), pH раствора (3) и плотности катодного тока (4)

Из электролита, содержащего сульфата цинка (на металл) 5,6 г/л, молочной кислоты (80 %-й раствор) 20 мл/л (pH 2,0), при низкой плотности тока (0,1 А/дм<sup>2</sup>) повышение температуры от 5 до 60 °С приводит к уменьшению катодного выхода по току цинка от 65 до 56 %, тогда как при плотности тока 1 А/дм<sup>2</sup> повышение температуры электролита способствует увеличению катодного выхода по току цинка от 55 до 85 %.

Такая зависимость выхода по току цинка от плотности тока, pH, температуры и перемешивания электролита, по-видимому, обусловлена тем фактом, что механизм выделения водорода при различных плотностях тока различен. При низких плотностях тока выделение водорода, по-видимому, происходит в результате протекания реакции саморастворения осажденного цинка [8–10]



тогда как при плотностях тока более  $0,5 \text{ А/дм}^2$  выделение водорода происходит, например, по реакции [11]



Между логарифмом отношения выхода по току металла к выходу по току водорода и логарифмом концентрации ионов цинка в растворе ( $[\text{Zn}^{2+}]$ , г/л), рН, плотности тока (более  $0,5 \text{ А/дм}^2$ ) и температуры ( $T$ , К при плотности тока  $1,0 \text{ А/дм}^2$ ) имеются зависимости следующих видов [12]:

$$\lg \frac{\text{ВТ}}{1 - \text{ВТ}} = -0,55 + 1,11 \lg [\text{Zn}^{2+}]; \quad (2)$$

$$\lg \frac{\text{ВТ}}{1 - \text{ВТ}} = 0,724 + 0,51 \text{pH}; \quad (3)$$

$$\lg \frac{\text{ВТ}}{1 - \text{ВТ}} = 0,174 - 0,92 \lg i; \quad (4)$$

$$\lg \frac{\text{ВТ}}{1 - \text{ВТ}} = 4,15 - \frac{1137}{T}, \quad (5)$$

коэффициент корреляции которых равен  $0,93\text{--}0,99$ , что свидетельствует о достаточно высокой точности приведенных уравнений.

На основании выполненных исследований для электроосаждения светлых полублестящих мелкокристаллических цинковых покрытий можно рекомендовать малотоксичный электролит следующего состава: сульфат цинка (на цинк) –  $5\text{--}12 \text{ г/л}$ , молочная кислота (80 %) –  $10\text{--}40 \text{ мл/л}$ , рН  $2\text{--}4$ . При катодной плотности тока  $0,5\text{--}1,5 \text{ А/дм}^2$  и комнатной температуре катодный выход по току равен  $55\text{--}65 \%$ , что соответствует скорости осаждения покрытия цинком  $4\text{--}13 \text{ мкм/ч}$ . Перемешивание электролита позволяет увеличить плотность катодного тока до  $4 \text{ А/дм}^2$ .

Поскольку в данном растворе, как и в других кислых электролитах цинкования [1], вследствие его химического растворения анодный выход по току больше  $100 \%$ , необходимо применять совместно растворимые цинковые и нерастворимые графитовые аноды.

Покрытия, полученные из данного электролита, обладают мелкокристаллической структурой (рис. 2,а) с блочным ростом кристаллов (рис. 2,б), хорошо пассивируются в хромсодержащих растворах, рекомендованных в [1, 2]. При этом цинковое покрытие приобретает от желтовато-зеленого до золотисто-желтого с радужными оттенками цвет.

Исследование свойств покрытий цинком, осажденных из предлагаемого электролита, показало, что они обладают достаточно низкими значениями переходного электросопротивления ( $0,06\text{--}0,09 \text{ Ом}$ ), удовлетворительной паяемостью, достаточно высокой износостойкостью ( $2000$  переключений при толщине покрытия  $1 \text{ мкм}$ ), низкими внутренними напряжениями растяжения  $20 \text{ МПа}$ , микротвердостью  $550 \text{ МПа}$  и коэффициентом трения.

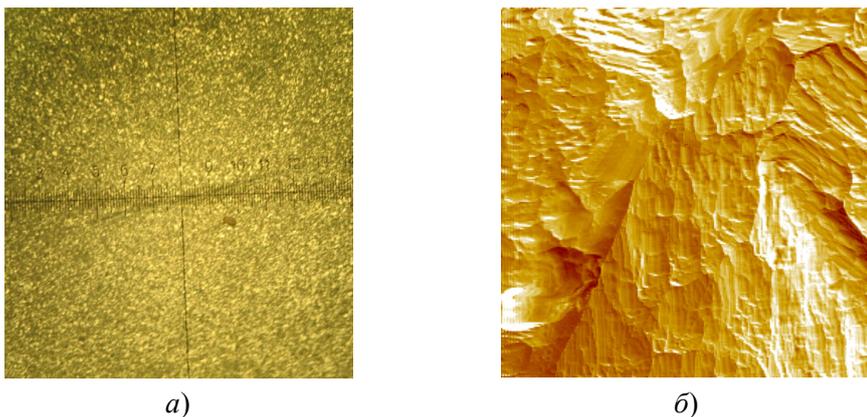


Рис. 2. Внешний вид цинкового покрытия:  
а – фотография (металлографический микроскоп) поверхности при увеличении  $\times 100$ ; б – микрофотография поверхности размером  $4 \times 4$  мкм, полученная на атомно-силовом микроскопе

### Выводы

1. Разработанный электролит сравнительно дешев, прост в приготовлении (малокомпонентный) и обслуживании (корректировке), не уступает по производительности применяемым в настоящее время слабокислым электролитам цинкования. Молочная кислота, применяемая в электролите, является малотоксичной, биоразлагаемой, дешевой и доступной добавкой.

2. Концентрация ионов цинка в растворе снижена практически в 10 раз по сравнению с известными.

3. Покрытия удовлетворительного качества получаются без введения в электролит дополнительных блескообразующих добавок.

4. Цинковые покрытия, получаемые из предложенного электролита, по своим физико-механическим и электрическим свойствам практически не отличаются от покрытий, осажденных из применяемых в настоящее время слабокислых электролитов.

5. Комплекс цинка с молочной кислотой может быть легко разрушен на стадии очистки сточных вод путем изменения pH раствора.

### Список литературы

1. **Кудрявцев, Н. Т.** Электролитические покрытия металлами / Н. Т. Кудрявцев. – М. : Химия, 1979. – 352 с.
2. ГОСТ 9.305–84. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытий. – М. : Госстандарт, 1988. – 183 с.
3. **Окулов, В. В.** Цинкование. Техника и технология / В. В. Окулов. – М. : Глобус, 2008. – 252 с.
4. ГН 2.1.5.689–98. Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М. : Минздрав России, 1998. – 186 с.
5. **Виноградов, С. С.** Экология гальванических производств и очистка производственных вод / С. С. Виноградов // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2010. – № 2 (26). – С. 20–31.

6. ГОСТ 490–2006. Кислота молочная. Технические условия. – М. : Госстандарт, 2007. – 28 с.
7. **Баранов, В. А.** Цифровой кулонометр / В. А. Баранов, Вл. А. Баранов, Ю. П. Перельгин // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции и выставки «Гальванотехника, обработка поверхности и экология в XXI веке». – М., 2003. – С. 21.
8. **Флорианович, Г. М.** Химический механизм растворения металлов. Обоснование и альтернативные представления / Г. М. Флорианович // Электрохимия. – 2000. – Т. 36, № 10. – С. 1175–1181.
9. **Колотыркин, Я. М.** Аномальные явления при растворении металлов / Я. М. Колотыркин, Г. М. Флорианович // Итоги науки и техники. Электрохимия. – М. : ВИНТИ, 1971. – Т. 7. – С. 5–64.
10. **Дамаскин, Б. Б.** Введение в электрохимическую кинетику / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий. – М. : Высш. шк., 1983. – 400 с.
11. **Феттер, К.** Электрохимическая кинетика / К. Феттер. – М. : Мир, 1967. – 856 с.
12. **Перельгин, Ю. П.** О влиянии состава электролита и режима электролиза на катодный выход по току металла / Ю. П. Перельгин // Электрохимия. – 1994. – Т. 30, № 1. – С. 14–16.

### *References*

1. Kudryavtsev N. T. *Elektroliticheskie pokrytiya metallami* [Electrolytic metal coatings]. Moscow: Khimiya, 1979, 352 p.
2. *GOST 9.305–84. Pokrytiya metallicheskie i nemetallicheskie neorganicheskie. Operatsii tekhnologicheskikh protsessov polucheniya pokrytiy* [Metal and non-metal inorganic coatings. Technological processes of coating production]. Moscow: Gosstandart, 1988, 183 p.
3. Okulov V. V. *Tsinkovanie. Tekhnika i tekhnologiya* [Galvanization. Technology]. Moscow: Globus, 2008, 252 p.
4. *GN 2.1.5.689–98. Predel'no dopustimye kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaystvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya* [GN 2.1.5.689–98. Maximum permissible concentration of chemical elements in water bodies of household and community water use]. Moscow: Minzdrav Rossii, 1998, 186 p.
5. Vinogradov S. S. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water purification. Water treatment. Water supply]. 2010, no. 2 (26), pp. 20–31.
6. *GOST 490–2006. Kislota molochnaya. Tekhnicheskie usloviya* [Lactic acid. Technical conditions]. Moscow: Gosstandart, 2007, 28 p.
7. Baranov V. A., Baranov Vl. A., Perelygin Yu. P. *Tezisy dokladov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii i vystavki «Gal'vanotekhnika, obrabotka poverkhnosti i ekologiya v XXI veke»* [Report theses of the All-Russian scientific and practical conference and exhibition “Electroplating, surface processing and ecology in XXI century”]. Moscow, 2003, p. 21.
8. Florianovich G. M. *Elektrokhimiya* [Electrochemistry]. 2000, vol. 36, no. 10, pp. 1175–1181.
9. Kolotyркиn Ya. M., Florianovich G. M. *Itogi nauki i tekhniki. Elektrokhimiya* [Science and technology results. Electrochemistry]. Moscow: VINITI, 1971, vol. 7, pp. 5–64.
10. Damaskin B. B., Petriy O. A. *Vvedenie v elektrokhimicheskuyu kinetiku* [Introduction into electrochemical kinetics]. Moscow: Vyssh. shk., 1983, 400 p.
11. Fetter K. *Elektrokhimicheskaya kinetika* [Electrochemical kinetics]. Moscow: Mir, 1967, 856 p.
12. Perelygin Yu. P. *Elektrokhimiya* [Electrochemistry]. 1994, vol. 30, no. 1, pp. 14–16.

**Перельгин Юрий Петрович**

доктор технических наук, профессор,  
декан естественнонаучного факультета,  
Пензенский государственный  
университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: enf@pnzgu.ru

**Perehygin Yuriy Petrovich**

Doctor of technical sciences, professor,  
dean of the Faculty Natural Sciences,  
Penza State University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

**Киреев Сергей Юрьевич**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой химии,  
Пензенский государственный  
университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: sergey58\_79@mail.ru

**Kireev Sergey Yur'evich**

Candidate of technical sciences, associate  
professor, head of sub-department  
of chemistry, Penza State University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

**Ягниченко Наталья Владленовна**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра техносферной безопасности,  
Пензенский государственный  
университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: ot@pnzgu.ru

**Yagnichenko Natal'ya Vladlenovna**

Candidate of engineering sciences, associate  
professor, sub-department of technosphere  
safety, Penza State University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

---

УДК 669.587

**Перельгин, Ю. П.**

**Электрохимическое осаждение цинка из электролита, содержащего молочную кислоту / Ю. П. Перельгин, С. Ю. Киреев, Н. В. Ягниченко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 102–109.**

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЛАНДШАФТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Ландшафтное планирование необходимо при разработке региональных программ территориального развития. Для разработки ландшафтной программы Пензенской области наиболее актуальными являются исследования и научные обоснования экологических зон, в той или иной степени регламентирующих хозяйственную деятельность. *Материалы и методы.* Для разработки модели общенаучной карты Пензенской области использовался синтетический метод, основанный на анализе дешифровочных признаков космofотоснимков, выполненном с ресурсного спутника Landsat 7, и использовании программного комплекса ERDAS IMAGINE. Исходными материалами для классификации ландшафтов по устойчивости к химическим воздействиям послужили картографические и фондовые материалы по геологии, геоморфологии, гидрогеологии и почвам Пензенской области. Критерии устойчивости разрабатывались на основании общих принципов геохимической классификации ландшафтов, разработанных А. И. Перельманом и М. А. Глазковской. При разработке модели экологического каркаса использовались методические наработки института географии РАН, МГУ им. Н. П. Огарева г. Саранска, а также база данных для ландшафтной карты Пензенской области. *Результаты.* Для ландшафтного планирования Пензенской области проведен ряд ландшафтно-экологических исследований, включающих создание модели общенаучной ландшафтной карты, классификацию ландшафтных рисунков, классификацию ландшафтов по устойчивости к техногенным воздействиям, модель экологического каркаса. На ландшафтной карте отражены результаты типологического и регионального районирования. Всего на ландшафтной карте выделено 4 вида ландшафтов, 17 типов местностей и 28 ландшафтных районов. Основными процессами формирования ландшафтов являются экзогеодинамические (эрозионные, суффозионные, оползневые). По устойчивости к загрязнению тяжелыми металлами все ландшафты разделены на три группы: 1 – слабоустойчивые, 2 – среднеустойчивые, 3 – наиболее устойчивые. Наиболее уязвимыми являются пойменные и овражно-балочные геосистемы. Основными (региональными) зонами экологического равновесия являются смешанные леса бассейна Вада, Мокши и левобережья Суры, простирающиеся с севера на юг. Они представляют зону экологической защиты области от техногенных систем Центральной России. *Выводы.* Закономерности ландшафтной дифференциации обосновывают разработку прикладных геоэкологических карт. Наиболее устойчивыми к химическому воздействию являются ландшафты междуречий вторично-моренных равнин. Ядрами экологического каркаса являются наиболее уязвимые элементы природного каркаса Пензенской области. Рекомендуемые зоны экологического равновесия играют основную средоформирующую роль и не должны включаться в хозяйственное использование.

**Ключевые слова:** ландшафт, ландшафтное планирование, устойчивость ландшафтов, зоны экологического равновесия.

S. N. Artemova

## GEOECOLOGICAL INVESTIGATION FOR LANDSCAPE PLANNING IN PENZA REGION

**Abstract.** *Background.* Landscape planning is necessary for the development of regional programs of territorial development. Research and scientific study of ecological zones that in one way or another regulate economic activity are the most relevant for determining landscape program in Penza region. *Materials and methods.* To develop a model of general scientific map of Penza region we used the synthetic method based on the analysis of deciphered signs of satellite photos, performed with resource satellite Landsat 7 and the use of complex software ERDAS IMAGINE. The starting materials for landscape classification according to their sustainability to chemical attack are cartographic and fund data on geology, geomorphology, hydrogeology and soils of Penza region. The sustainability criteria were developed on the basis of the general principles of the geochemical landscape classification developed by A. I. Perelman and M. A. Glazovskaya. While developing the model of ecological framework the methodological experience of the RAS Institute of Geography, MSU named after N. P. Ogarev, Saransk, as well as a database to map the landscape of Penza region were used. *Results.* A number of ecological landscape studies involving the creation of a general scientific landscape map model, landscape drawing classification, landscape classification based on resistance to anthropogenic impacts, ecological frame model were carried out for landscape planning in Penza region. The landscape map shows the results of typological and regional zoning. Four landscape kinds, 17 locality types and 28 landscape areas are reflected on the landscape map. The main landscape formation processes are exogeodynamic (erosion, suffusion, landslide) ones. According to the sustainability to heavy metal contamination all the landscapes are divided into three groups: 1 – low-sustainable, 2 – medium-sustainable, 3 – the most -sustainable. The most vulnerable are the floodplain and ravine-gully geosystems. The main (regional) ecological equilibrium zones are mixed forests in the basins of the Vada, the Moksha and the left bank of the Sura, stretching from the north to the south. They represent an ecological protection zone of the territory from anthropogenic systems of Central Russia. *Conclusions.* The regularities of landscape differentiation justify the development of applied geo-ecological maps. The landscapes of secondary moraine interfluvial plains are the most resistant to chemicals. Ecological frame nuclei are the most vulnerable elements of Penza region natural framework. The recommended ecological equilibrium zones play a major environment-forming role and should not be used in the economic activity.

**Key words:** landscape, landscape planning, landscape sustainability, ecological equilibrium zones.

### Введение

В рамках программы устойчивого развития России в субъектах Федерации разрабатываются региональные программы территориального развития. К сожалению, в РФ не отработаны вопросы типологии планов территориального развития, не определены их юридический статус, процедура планирования. Для выбора путей устойчивого территориального развития необ-

ходимы корректная оценка природно-ресурсного потенциала, экологических и социально-экономических условий территории и определение возможных вариантов оптимизации землепользования. В качестве инструментария планирования этого развития могут служить методические приемы ландшафтного планирования (ЛП) [1]. Наряду с градостроительным планированием на каждом административном уровне необходимо проводить ландшафтное планирование. Разработка ландшафтных планов отдельных регионов России позволит уменьшить развитие деструктивных геоэкологических процессов в ландшафтах и определить стратегию устойчивого развития территорий.

Основы современного конструктивного направления ландшафтного планирования были заложены в трудах отечественных ученых В. В. Докучаева, Г. Н. Высоцкого, Г. Ф. Морозова, Л. Г. Раменского, Д. Л. Арманда, М. А. Глазговской, А. Г. Исаченко, Н. С. Касимова, В. С. Преображенского, Н. А. Солнцева, В. Б. Сочавы, В. А. Николаева и др.

Ландшафтное планирование в России развивается с 1994 г., когда в рамках Соглашения о сотрудничестве в области охраны окружающей среды между РФ и ФРГ (1992 г.) был заключен договор о разработке проекта экологически сбалансированного развития Прибайкальского региона. В ходе выполнения проекта российские ученые сибирского отделения РАН разработали принципы ландшафтного планирования, концепцию его развития в России, методические рекомендации и руководство по ЛП [2]. В РФ определены следующие иерархические уровни ЛП, согласованные с уровнями градостроительного планирования: *ландшафтная программа* – рекомендуется разрабатывать для территорий субъектов РФ; *рамочный ландшафтный план* – для административных районов субъектов РФ; *ландшафтный план* – для конкретных субъектов хозяйственной деятельности на низшем административно-территориальном уровне.

Создание единых региональных ландшафтных планов на одной методологической основе перспективно для стратегии устойчивого развития России. К сожалению, в России отсутствует правовая база для использования ЛП, развития его методов. Широкое внедрение ландшафтного планирования ограничивается отсутствием сплошной ландшафтной съемки на территорию России.

В Пензенской области отсутствуют средне- и крупномасштабные ландшафтные карты, оценочные геоэкологические карты, что вызвало затруднения при разработке территориальной комплексной схемы градостроительного планирования. Это обуславливает необходимость и актуальность ландшафтно-экологических исследований Пензенской области для ландшафтного планирования.

Для разработки ландшафтной программы Пензенской области основными направлениями исследования являются: выявление и исследование наиболее значимых геоэкологических проблем и кризисных ситуаций; поиск причин их возникновения, учет особенностей функционирования и взаимодействия селитебных, промышленных, транспортных, горно-технических, сельскохозяйственных, рекреационных, природоохранных элементов природно-социально-производственных систем и экологическое обоснование хозяйственной деятельности. Результатом работ должны быть серии карт, обосновывающих выделение типов экологических зон, в той или иной мере рег-

ламентирующей хозяйственную деятельность. Как показывает практика региональных исследований, работы по ландшафтному планированию целесообразно осуществлять на основе синтетических ландшафтных карт, составленных на базе инструментального и визуального дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли. Эффективность исследований значительно возрастает при использовании электронных ландшафтных карт.

Для разработки ландшафтного плана Пензенской области проведены геоэкологические исследования, включающие разработку общенаучной синтетической ландшафтной карты, геоэкологическую оценку устойчивости ландшафтов к химическому воздействию и разработку модели экологического каркаса.

### 1. Материал и методы исследований

В своей работе мы основывались на системном, хронологическом (геоинформационном), ландшафтном, историко-генетическом, природопользовательском и социально-экологическом принципах, изложенных в «Руководстве по ландшафтному планированию» [1]. При выработке основных направлений и методов исследования мы опирались на теорию взаимодействия общества и природы, на знание законов формирования, функционирования и динамики ландшафтов как целостных образований, на концепцию поляризованного ландшафта, теоретическое обоснование которой нашло отражение в работах Б. Б. Родмана [3].

Для разработки модели общенаучной ландшафтной карты Пензенской области использована электронная ландшафтная карта Республики Мордовия, функционирующая в региональной ГИС «Мордовия» [4]. В качестве основных объектов картографирования выступают ландшафты, местности и урочища (рис. 1).

Общая схема работ включает следующие процедуры: подготовку цифровых данных дистанционного зондирования; цифровую обработку изображений; создание основы для применения ГИС-технологий для анализа космических изображений; визуальный анализ космических снимков и интерпретацию количественных и качественных признаков состояния ландшафтов; картографическое оформление результатов исследования. В качестве исходных данных о структурно-генетической основе ландшафтов, характере и степени антропогенной трансформации природных комплексов использованы тематические карты и космические снимки Landsat 7. Для дешифрирования космических снимков в работе использован программный комплекс ERDAS IMAGINE.

Исходными материалами для классификации ландшафтов по устойчивости к химическим воздействиям послужили картографические и фондовые материалы по геологии, геоморфологии, гидрогеологии и почвам Пензенской области. Критерии устойчивости разрабатывались на основании общих принципов геохимической классификации ландшафтов, разработанных А. И. Перельманом и М. А. Глазовской.

При разработке модели экологического каркаса использовались методические наработки института географии РАН [5], МГУ им. Н. П. Огарева г. Саранска [4], а также база данных для ландшафтной карты Пензенской области.



этому важно выявить особенности ее морфологического строения, сопряжения геосистем, основные направления природных процессов. Эти задачи решает такое прикладное направление ландшафтоведения, как «Рисунок ландшафта».

Для каждого типа местности выполнена схема и проведен анализ рисунка ландшафта (рис. 2), что позволяет выявить особенности геоэкологических процессов в сопряженных геосистемах на локальном уровне (урочищ и подурочищ). Такая картографическая информация может служить основой для составления рамочных планов при ландшафтном планировании административных районов Пензенской области.

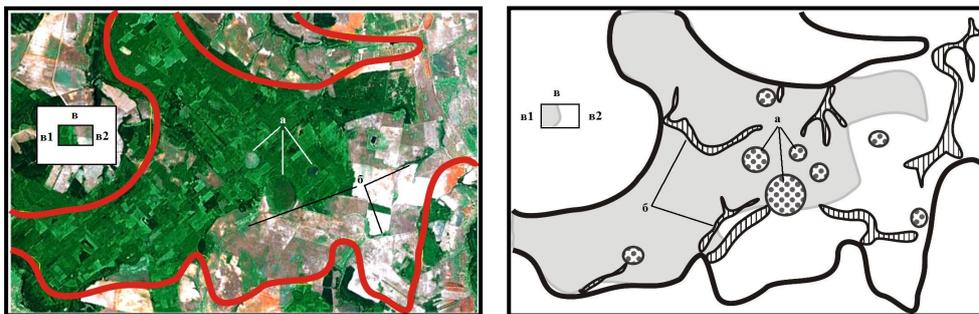


Рис. 2. Рисунок ландшафта слабоволнистых поверхностей с западными формами рельефа верхнего плато Приволжской возвышенности, сложенных элювиально-делювиальными отложениями палеогеновых песков и песчаников:

- а* – гидрогенный ландшафт суффозионных западин; *б* – ложбины стока;  
*в* – литогенный ландшафт межзападных пространств  
 (*в1* – лесная растительность, *в2* – сельскохозяйственные земли)

Следующий этап развития электронной ландшафтной карты для целей ландшафтного планирования территории заключается в сопряженном использовании общенаучной ландшафтной карты, характеризующей инварианты природных комплексов, с информацией о техногенных системах и геоэкологических трансформациях природных комплексов.

Анализ ландшафтной карты, механического и химического составов почвогрунтов в зоне аэрации, закономерностей сопряжения геохимических ландшафтов, глубины залегания и химического состава подземных вод позволил провести классификацию ландшафтов Пензенской области по устойчивости к загрязнению тяжелыми металлами. Классификация проведена с учетом геохимической обстановки в разных ландшафтах Пензенской области. Наибольшие различия геохимической обстановки наблюдаются в следующих геосистемах: в автономных и сопряженных ландшафтах; в ландшафтах, которые подвергались и не подвергались оледенению (Засурье); которые в своем строении имеют разные следы геохимической обстановки древних эпох (Приволжская возвышенность и Окско-Донская равнина, лесные и степные); в ландшафтах с разными типами почвенно-растительного покрова и почвообразующих пород (лесные, степные, пойменные и др.). Основным критерием эколого-геохимической оценки устойчивости ландшафтов в пределах геохимических районов Пензенской области является способность почв к накоплению или выносу металлов. Показателями устойчивости почв явля-

ются: механический состав почв, кислотность, мощность гумусового горизонта, геохимические барьеры. Проведенная оценка позволила нам разделить все ландшафты Пензенской области на три группы: 1 – слабоустойчивые, 2 – среднеустойчивые, 3 – наиболее устойчивые.

Разработанная классификация может использоваться при функциональном зонировании и выделении разных типов экологических зон.

Большое значение для ландшафтного планирования имеет пространственное сочетание элементов зон экологического равновесия и хозяйственного (экономического) каркаса. К зонам экологического равновесия относят наиболее уязвимые и значимые элементы природного каркаса, которые должны составлять экологический каркас региона с системой особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Созданная в начале 70-х гг. XX в. сеть ООПТ не имела под собой четкой теоретической базы, поэтому в пределах регионов, в том числе и в Пензенской области, появился несбалансированный набор объектов, реальная защищенность которых сомнительна, а средостабилизирующие возможности невелики.

Анализ морфологической структуры ландшафтов, особенностей развития физико-географических условий формирования речного и подземного стоков, истории хозяйственного освоения и особенностей развития геоэкологических процессов позволяет выделить зоны экологического равновесия, которые должны составить основу экологического каркаса территории Пензенской области (рис. 3). Основными (региональными) зонами экологического равновесия являются смешанные леса бассейна Вада, Мокши и левобережья Суры, простирающиеся с севера на юг. Они представляют зону экологической защиты области от техногенных систем Центральной России. Значение этих зон велико также в связи с активным участием выделенных ландшафтов в обеспечении формирования устойчивого речного и подземного стоков.

Зонами экологического равновесия областного значения должны стать примокшанские леса и ПТК с большой лесистостью Засурья. Их значение весьма велико с позиций поддержания равновесия водного баланса, ограничения развития эрозионных процессов. С зонами регионального и областного значения должны быть согласованы каркасные элементы районного значения. Зоны экологического равновесия разных уровней образуют единую сеть экологических «коридоров», которые соединят примокшанские и присурские лесные массивы, обеспечат условия миграции животных и растений. Площадь лесов в зонах экологического равновесия должна быть увеличена с учетом динамики лесопокрываемых территорий.

Выделенные особенности пространственной организации зон экологического равновесия показывают целесообразность организации заказников в приводораздельных типах местностей ландшафтов широколиственных лесов и лесостепей вторичных моренных равнин.

### **Заключение**

Анализ ландшафтной карты позволяет выделить следующие закономерности природной дифференциации на территории Пензенской области: 1) географическое соседство лесостепных ландшафтов Приволжской возвышенности и лесных геосистем Окско-Донской низменности обуславливает хорошую выраженность границ природных комплексов эрозионно-денудаци-

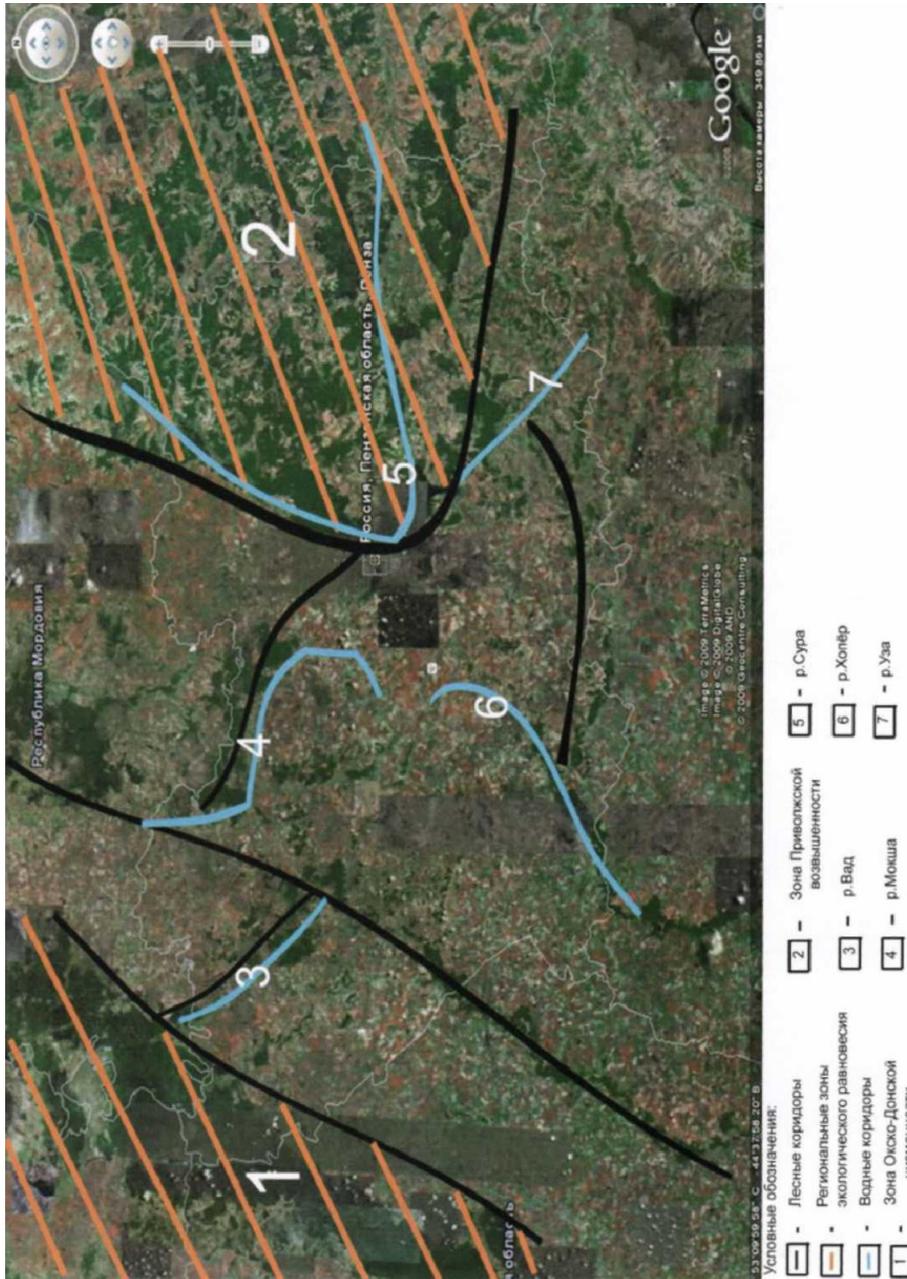


Рис. 3. Экологический каркас Пензенской области

онных, вторичных моренных и водно-ледниковых равнин; 2) для лесостепных ландшафтов эрозионно-денудационных и вторичных моренных равнин отчетливо проявляется ступенчатый ландшафтный рисунок, обусловленный высотной сменой лесных геоккомплексов приводораздельных пространств лугово-степными природными территориальными комплексами на нижних участках склонов; 3) позиционные факторы, трансформация энергетических и вещественных потоков литогенной основы определяют закономерности распространения фитоценозов и встречаемость редких видов растений; 4) процессы хозяйственного освоения носят выборочный характер.

Закономерности ландшафтной дифференциации обосновывают разработку прикладных геоэкологических карт. Наиболее устойчивыми к химическому воздействию являются ландшафты междуречий вторично-моренных равнин. Ядрами экологического каркаса являются наиболее уязвимые элементы природного каркаса Пензенской области. Рекомендуемые зоны экологического равновесия играют основную средоформирующую роль и не должны включаться в хозяйственное использование. Дальнейшие исследования должны включать анализ взаимодействия природных и производственных систем.

#### **Список литературы**

1. Руководство по ландшафтному планированию : в 2-х т. – М. : Государственный центр экологических программ, 2000–2001.
2. **Антипов, А. Н.** Ландшафтное планирование как инструмент управления природопользованием (на примере Байкальского региона) / А. Н. Антипов, Ю. М. Семенов // Известия РАН. Сер. Географическая. – 2006. – № 5. – С. 82–91.
3. **Родоман, Б. Б.** Поляризация ландшафта как средство сохранения биосферы и рекреационных ресурсов / Б. Б. Родоман // Ресурсы, среда, расселение. – М. : Наука, 1974. – С. 150–162.
4. **Ямашкин, А. А.** Геоинформационные технологии в ландшафтном планировании и прогнозировании деструктивных геоэкологических процессов / А. А. Ямашкин, А. К. Коваленко // Мордовия: наука, инновация, новые технологии. – 2004. – № 2. – С. 16–21.
5. **Колбовский, Е. Ю.** Ландшафтное планирование и формирование сетей охраняемых природных территорий / Е. Ю. Колбовский, В. В. Морозова. – М. ; Ярославль : Институт географии РАН, Изд-во ЯГПУ, 2001. – 152 с.

#### **References**

1. *Rukovodstvo po landshaftnomu planirovaniyu: v 2-kh t.* [Guidance on landscape planning: in 2 volumes]. Moscow: Gosudarstvennyy tsentr ekologicheskikh programm, 2000–2001.
2. Antipov A. N., Semenov Yu. M. *Izvestiya RAN. Ser. Geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series Geography]. 2006, no. 5, pp. 82–91.
3. Rodoman B. B. *Resursy, sreda, rasselenie* [Resources, environment, dissemination]. Moscow: Nauka, 1974, pp. 150–162.
4. Yamashkin A. A., Kovalenko A. K. *Mordoviya: nauka, innovatsiya, novye tekhnologii* [Mordovia: science, innovation, new technologies]. 2004, no. 2, pp. 16–21.
5. Kolbovskiy E. Yu., Morozova V. V. *Landshaftnoe planirovanie i formirovanie setey okhranyaemykh prirodnykh territoriy* [Landscape planning and formation of networks of protected natural territory]. Moscow ; Yaroslavl: Institut geografii RAN, Izd-vo YaGPU, 2001, 152 p.

**Артемova Серафима Николаевна**

кандидат географических наук, доцент,  
кафедра географии, Пензенский  
государственный университет  
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: art-serafima@yandex.ru

**Artemova Serafima Nikolaevna**

Candidate of geographical sciences,  
associate professor, sub-department  
of geography, Penza State University  
(Penza, 40 Krasnaya str.)

---

УДК 504.062

**Артемova, С. Н.**

**Геоэкологические исследования для целей ландшафтного планирования Пензенской области / С. Н. Артемova // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 110–119.**

## О ВЕРХНИХ ПЛАТО ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Верхние плато присутствуют в той или иной мере во всей центральной части Приволжской возвышенности и играют существенную роль в формировании растительного мира данной части Приволжской возвышенности. Научный интерес представляли получение общей схемы расположения верхних плато в центральной части Приволжской возвышенности с применением данных дистанционного зондирования Земли – цифровой модели рельефа (ЦМР), а также получение данных о современной лесистости верхних плато с применением космических снимков. *Материалы и методы.* Исходными материалами при проведении исследования послужили труды отечественных ученых, посвященные Приволжской возвышенности, ее геологическому строению, рельефу, растительному покрову, а также данные дистанционного зондирования Земли – мультиспектральные космические снимки ASTER и цифровая модель рельефа ASTER GDEM V.2. Основные методы исследования – геоинформационное моделирование и картографирование, обработка космических снимков с преобразованием Tasseled cap. *Результаты.* Верхние плато Приволжской возвышенности большей частью расположены на территории Пензенской области, в том числе и известная возвышенность «Сурская шишка». При этом на территории региона верхние плато присутствуют только в бассейне реки Суры в Засурском, Кададино-Сурском, Кададино-Узинском ландшафтных районах. Исследование данных о современной лесистости верхних плато Приволжской возвышенности на территории Пензенской области, приведенных на схеме лесистости, показывает, что степень их лесистости (облесенности) в Засурском районе составляет от 30 до 70 % площади верхних плато. В Кададино-Сурском и Кададино-Узинском районах лесистость верхних плато составляет от 10 до 80 %. *Выводы.* Полученные в результате исследования данные показывают, что современные средства и методы (геоинформационные системы, космические снимки и цифровые модели рельефа) позволяют получить объективные данные о природных компонентах (рельефе, растительности) ландшафтов региона.

**Ключевые слова.** Приволжская возвышенность, верхние плато, ГИС, дистанционное зондирование Земли.

А. А. Klikunov

## ON THE UPPER PLATEAU OF THE VOLGA HIGHLANDS IN PENZA REGION

**Abstract.** *Background.* Upper plateaus are present in varying degrees throughout the central part of Volga Elevation and play a significant role in shaping the flora of this part of the Volga Elevation. Defining the general framework of the upper plateau layout in the central part of the Volga Elevation using remote Earth sensing data – a digital relief model (DRM), as well as obtaining the data on the contemporary percentage of forest land on the upper plateaus using satellite photographs present a certain scientific interest. *Materials and methods.* The starting data in the research were the works of Russian scientists devoted to the Volga Elevation, its geological structure, topography, vegetation, as well as the remote sensing of the Earth – ASTER multispectral satellite photographs and digital relief model ASTER GDEM V.2. The

basic research methods are geographic information modelling and mapping, processing of satellite photographs with the conversion Tasseled cap. *Results.* The upper plateaus of the Volga Elevation are mostly located in Penza region, including the famous upland “Surskaya shishka”. On the territory of the region upper plateaus are present only in the Sura basin in Zasursky, Kadadino-Sursky, Kadadino-Uzinsky landscape areas. Studying the data on the contemporary percentage of forest land on the upper plateaus of the Volga Elevation in the Penza region, shown on the percentage of forest land scheme reveals that the extent of their forest cover (stocking) in Zasursky area ranges from 30 to 70 % of the upper plateau area. In Kadadino-Sursky and Kadadino-Uzinsky areas the percentage of forest land on the upper plateaus ranges from 10 to 80 %. *Conclusions.* The research data show that the latest means and techniques (geographic information systems, satellite photographs and digital relief models) allow to obtain objective data on the nature landscape components (topography, vegetation) of the region.

**Key words:** Volga Elevation, upper plateaus, GIS, remote sensing of the Earth.

Значительную часть территории Пензенской области занимает такой тип местности, как верхнее плато Приволжской возвышенности, расположенное на отметках высот 280 и более метров [1]. Данный тип местности представляет собой слабоволнистые поверхности с западинами, сложенными элювиально-делювиальными образованиями палеогеновых песков и песчаников, со светло-серыми и серыми лесными песчаными почвами под хвойными и хвойно-широколиственными лесами. Изучение данных о верхних плато, приведенных в [2–4], показывает, что данная форма рельефа присутствует в той или иной мере во всей центральной части Приволжской возвышенности и играет существенную роль в формировании растительного мира. Научный интерес представляют получение общей схемы расположения верхних плато в центральной части Приволжской возвышенности с применением данных дистанционного зондирования Земли – цифровой модели рельефа (ЦМР), а также получение данных о современной лесистости верхних плато с применением космических снимков.

В данной работе объектом исследований являются верхние плато Приволжской возвышенности, предметом исследования – получение схемы расположения верхних плато в центральной части Приволжской возвышенности и современная степень лесистости верхних плато на территории Пензенской области.

Решение поставленных задач осуществлялось нами на рабочем месте исследователя, в состав которого вошло программное обеспечение – операционная система Windows 7, геоинформационная система ArcGIS 9.3.1, программный комплекс для обработки данных дистанционного зондирования Земли ERDAS Imagine 9.1, векторный графический редактор CorelDRAW X5. Для определения пространственного положения верхних плато использовалась ЦМР ASTER GDEM V.2 [5]. Для исследования лесистости использовались космические снимки ASTER [6] летней съемки 2010 г., при этом данные снимки предварительно подвергались преобразованию Tasseled cap с целью улучшения изобразительных свойств снимка по отношению к древесной растительности.

В результате обработки массива данных ЦМР об абсолютных высотах Приволжской возвышенности и последующего картографирования результатов обработки была получена схема расположения верхних плато в центральной части Приволжской возвышенности, приведенная на рис. 1.

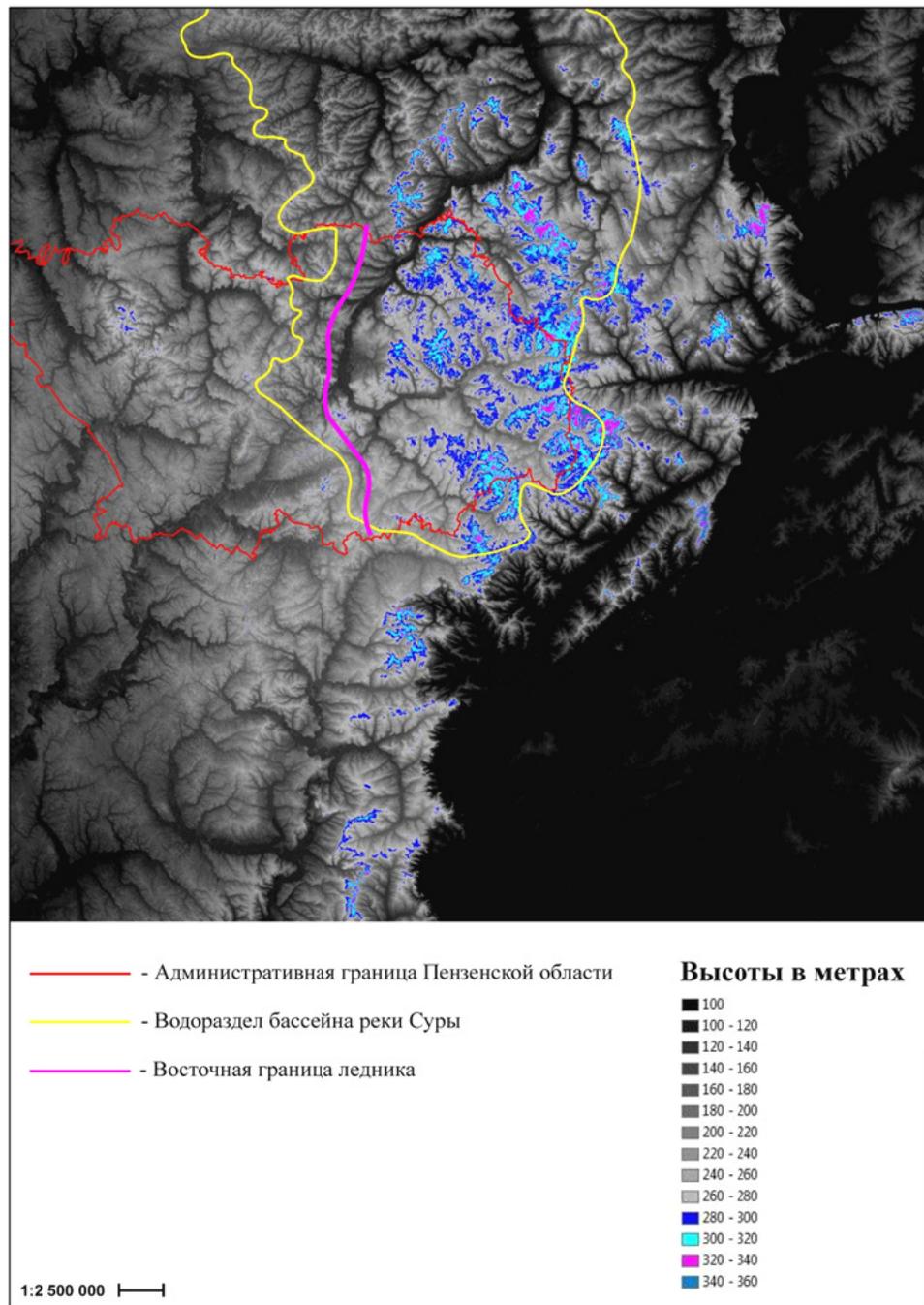


Рис. 1. Схема расположения верхних плато в центральной части Приволжской возвышенности

При определении современной лесистости верхних плато, расположенных на территории Пензенской области, нами была разработана следующая методика.

На первом этапе была выполнена привязка космического снимка территории Пензенской области к соответствующему участку ЦМР. На втором

этапе с применением ArcGIS 9.3.1 и ЦМР были получены изолинии отметок высот от 280 м и выше. Данные изолинии соответствуют пространственному положению верхних плато интересующего участка. На третьем этапе полученные данные об изолиниях отметок высот верхних плато были перенесены на космический снимок.

В результате была получена схема лесистости верхних плато Приволжской возвышенности на территории Пензенской области, на которой представлены данные о древесной растительности и изолинии, соответствующие верхним плато. Фрагмент данной схемы приведен на рис. 2.

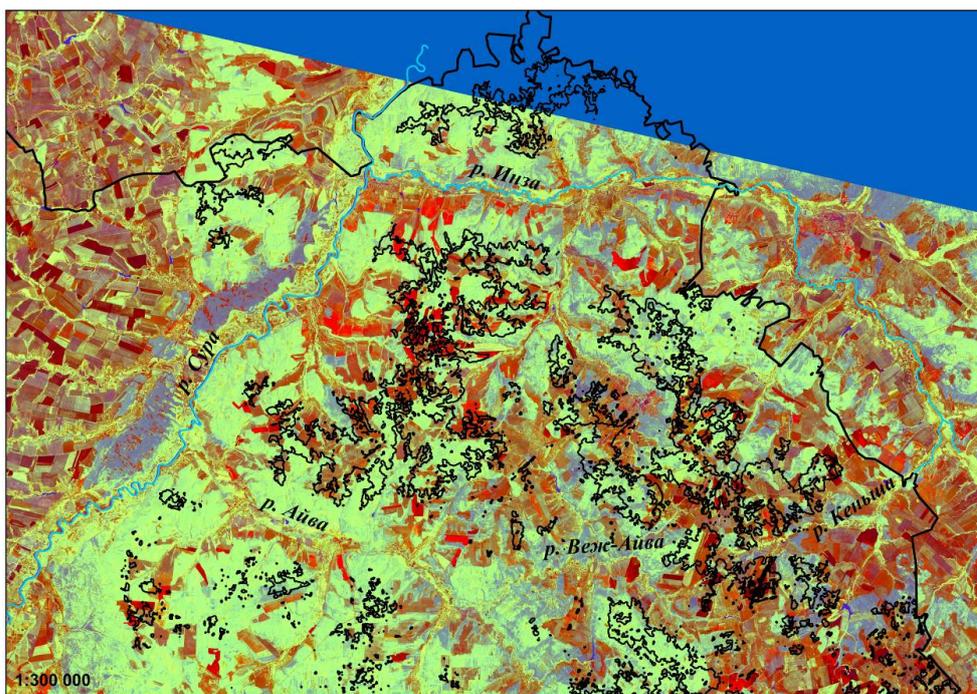


Рис. 2. Фрагмент схемы лесистости верхних плато Приволжской возвышенности

Изучение данных, представленных на рис. 1, показывает, что верхние плато Приволжской возвышенности большей частью расположены на территории Пензенской области, в том числе и известная возвышенность «Сурская шишка». При этом на территории региона верхние плато присутствуют только в бассейне реки Суры в Засурском, Кададино-Сурском, Кададино-Узинском ландшафтных районах.

Исследование данных о современной лесистости верхних плато Приволжской возвышенности на территории Пензенской области, приведенных на схеме лесистости, показывает, что степень их лесистости (облесенности) в Засурском районе составляет от 30 до 70 % площади верхних плато. В Кададино-Сурском и Кададино-Узинском районах лесистость верхних плато составляет от 10 до 80 %.

Полученные в результате исследования данные также показывают, что современные средства и методы (геоинформационные системы, космические снимки и ЦМР) позволяют получить объективные данные о природных компонентах (рельефе, растительности) региона.

**Список литературы**

1. **Ямашкин, А. А.** Ландшафтная карта и пространственные закономерности природной дифференциации Пензенской области / А. А. Ямашкин, С. Н. Артемова, Л. А. Новикова, Н. А. Леонова, Н. С. Алексеева // Проблемы региональной экологии. – 2011. – Вып. 1. – С. 49–56.
2. **Востряков, А. В.** Неогеновые и четвертичные отложения, рельеф и неотектоника юго-востока Русской платформы / А. В. Востряков. – Саратов : Изд-во Саратов. гос. ун-та, 1967. – 270 с.
3. Природные условия Ульяновской области / под ред. А. П. Дедкова. – Казань, 1978. – 328 с.
4. **Ямашкин, А. А.** Физико-географические условия и ландшафты Мордовии / А. А. Ямашкин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1998. – 156 с.
5. ASTER GDEM – «ASTER GDEM is a product of METI and NASA».
6. ASTER (космические снимки). – URL: [https://lpdaac.usgs.gov/customer\\_service/aster\\_policies](https://lpdaac.usgs.gov/customer_service/aster_policies). Доступ свободный, язык английский.

**References**

1. Yamashkin A. A., Artemova S. N., Novikova L. A., Leonova N. A., Alekseeva N. S. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology]. 2011, iss. 1, pp. 49–56.
2. Vostryakov A. V. *Neogenovye i chetvertichnye otlozheniya, rel'ef i neotektonika yugovostoka Russkoy platform* [Neogene Quaternary deposits, relief and neotectonics of the east of the Russian plateau]. Saratov: Izd-vo Sarat. gos. un-ta, 1967, 270 p.
3. *Prirodnye usloviya Ul'yanovskoy oblasti* [Natural conditions of Ulyanovsk region]. Ed. A. P. Dedkov. Kazan, 1978, 328 p.
4. Yamashkin A. A. *Fiziko-geograficheskie usloviya i landshafty Mordovii* [Physical and geographical conditions and landscapes of Mordovia]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 1998, 156 p.
5. *ASTER GDEM – «ASTER GDEM is a product of METI and NASA»*.
6. *ASTER (kosmicheskie snimki)* [ASTER (fotos from space)]. Available et: [https://lpdaac.usgs.gov/customer\\_service/aster\\_policies](https://lpdaac.usgs.gov/customer_service/aster_policies). Dostup svobodnyy, yazyk angliyskiy.

---

**Кликунов Андрей Александрович**  
аспирант, Мордовский государственный  
университет им. Н. П. Огарева  
(г. Саранск, ул. Большевикская, 68)

**Klikunov Andrey Aleksandrovich**  
Postgraduate student, Mordovia State  
University named after N. P. Ogarev  
(Saransk, 68 Bolshevistskaya str.)

E-mail: [a.klikunov@gmail.com](mailto:a.klikunov@gmail.com)

---

УДК 712(470,345)

**Кликунов, А. А.**

**О верхних плато Приволжской возвышенности на территории Пензенской области** / А. А. Кликунов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 120–124.

А. С. Соколов, Р. Ф. Хлебни

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ И СИТУАЦИЙ В ГОРОДЕ ГОМЕЛЕ И ИХ ОТРАЖЕНИЕ НА КОМПЛЕКСНОЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЕ

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Город Гомель является вторым по численности населения городом Белоруссии, крупным промышленным центром. Цель исследования – пространственный анализ геоэкологических ситуаций Гомеля, выявление территорий, отличающихся по остроте проявления экологического неблагополучия, и создание на основе этих исследований комплексной экологической карты города. *Материалы и методы.* Материалом для составления карты являлись карты состояния отдельных природных сред города, статистические и фондовые материалы, литературные источники. На основе территориального синтеза проанализированной экологической информации экспертным методом в пределах города были выделены ареалы экологических ситуаций, различающиеся по степени ее остроты. *Результаты.* Территория была разделена на четыре класса по уровню нарушенности природной среды: территории с критическим уровнем представлены тремя локальными ареалами на западе города, включающими территорию и окрестности полигона ТБО, разрабатываемый карьер по добыче песков «Осовцы» и территорию Гомельского химзавода вместе с промышленными отвалами фосфогипса; территории с высоким уровнем охватывают в основном функциональный центр города, его северную, северо-западную и западную части, а также юг Новобелицкого района; территории со средним уровнем нарушенности включают зоны преимущественно частного сектора в центральной и северо-восточной частях города, основную часть территории Новобелицкого района и большую часть юго-западной части города; территории с низким уровнем охватывают ежегодно затопляемые участки поймы Сожа, а также территории городских окраин в восточной части города. *Выводы.* Для города Гомеля характерны участки с самой различной остротой экологических ситуаций – от относительно удовлетворительной до критической. Главным фактором формирования ареалов с критическим и высоким уровнем нарушенности является расположение крупнейших промышленных предприятий на севере и, особенно, западе города, что в условиях господствующего западного переноса воздушных масс оказывает крайне неблагоприятное влияние на формирование экологической обстановки.

**Ключевые слова:** экологическая карта, экологическая информация, нарушенность природной среды, загрязнение.

A. S. Sokolov, R. F. Khlebin

## THE FORMATION OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS AND SITUATIONS IN THE CITY OF GOMEL AND THEIR REFLECTION ON THE COMPLEX GEOECOLOGICAL MAP

**Abstract.** *Background.* The city of Gomel, being a large industrial center, is the second most populous city of Belarus. The aim of the research is the regional analysis of geoecological situations in Gomel, identifying the most critical areas from the viewpoint of ecological violation and creating a comprehensive environmental map of the city based on this research. *Materials and methods.* The data for mapping in-

cluded the maps of the environmental states of the city districts, statistics and fund data, literature sources. On the basis of territorial synthesis of ecological information under analysis experts defined certain areas of environmental situations differing in the degree of their pollution within the city. *Results.* The territory was divided into four classes according to the level of the natural environment violation: the territories with the critical level are represented by three local areas in the west of the city, including the territory and surroundings of the MSW landfill, a working sand quarry «Osovtsy» and the territory of Gomel chemical plant together with industrial phosphogypsum dumps; the territories with a high pollution level mainly occupy the functional center of the city, its northern, northwestern and western parts, as well as the south of Novobelitsky district; the territories with an average level of pollution include mainly the private sector zones in the central and north-eastern parts of the city, the main part of the territory of Novobelitsky district and much of the southwestern part of the city; territories with a low pollution level cover annually flooded areas of the Sozh floodplain, as well as the urban areas on the eastern outskirts of the city. *Conclusions.* In the city of Gomel there can be found areas with very different environmental violation level ranging from relatively satisfactory to critical. The main factor for forming the areas with the critical and high level of environment violation is the presence of large industrial enterprises in the north and particularly in the west of the city that has a devastating impact on the formation of ecological environment taking into account the dominant Western transfer of air masses.

**Key words:** ecological map, ecological information, environment violation, pollution.

Экологическое картографирование в настоящее время является неотъемлемой частью подавляющего большинства геоэкологических исследований. Без экологической карты невозможно представить ни одно исследование, посвященное анализу экологических проблем и ситуаций, трансформации природной среды, локализации источников ее загрязнения, связи здоровья населения с качеством природной среды и др.

Экологические карты городов являются одними из наиболее сложных для создания. Это связано с тем, что именно в городах сконцентрирована основная часть населения и промышленного потенциала стран и резко обостряются связанные с этим экологические проблемы, характеризующиеся комплексностью и большим количеством разнородных факторов дестабилизации окружающей среды. Экологическое картографирование городов должно базироваться на комплексном изучении всех составляющих урбогеосистемы (природные, техногенные и социальные компоненты) [1].

Экологические карты могут выступать как:

- средство обучения, условно-знаковые наглядные учебные пособия, с помощью которых иллюстрируются территориальные аспекты экологических проблем и ситуаций на определенной территории;
- средство, предмет и результат научно-исследовательской работы;
- средство для практической природоохранной деятельности.

Целевое предназначение карты в первую очередь определяет выбор методики ее создания, отбора картографируемой информации и способа представления. Работа по созданию экологических карт требует синтеза разнообразной экологической и географической информации, анализа значительного количества картографических, фондовых и литературных материалов. За последнее десятилетие вышли качественные и доступные учебники и моногра-

фии по теоретическим и методическим вопросам экологического картографирования [2, 3], экологическому картографированию городов [1]. Учеными Института природопользования НАН Беларуси создана экологическая карта Светлогорска, синтезирующая в себе результаты экологического изучения города, с описанием методики создания [4] и др. Поэтому недостатка литературы по данной тематике не ощущается.

Настоящая работа посвящена пространственному анализу геоэкологических ситуаций города Гомеля, выявлению территорий, отличающихся по остроте проявления экологического неблагополучия, и созданию на основе этих исследований комплексной экологической карты города с основным целевым предназначением – для экологического просвещения, образования и воспитания.

Территория города Гомеля составляет 13,5 тыс. га. Гомель расположен в северной части Приднепровской низменности. Согласно физико-географическому районированию большая часть пригородной зоны и сам город находятся в пределах северо-восточной части физико-географического района Гомельское Полесье физико-географической провинции Белорусское Полесье. Климат Гомеля умеренно-континентальный. Характерны теплое лето и мягкая зима, что обуславливается частым приносом теплых морских воздушных масс с Атлантики, господствующим западным переносом. Средняя температура января  $-4,2$  °С, июля  $+19,9$  °С, среднегодовая температура  $+7,4$  °С. Годовая сумма осадков составляет в среднем 626 мм. Около 70 % осадков выпадает в теплый период с апреля по октябрь. Зимой преобладают ветры южного направления, летом – западного и северо-западного. К основным экологическим проблемам Гомеля следует отнести радиоактивное заражение, загрязнение атмосферы, почв и вод химическими элементами. Экологические проблемы обусловлены главным образом положением Гомеля как крупного промышленного центра. Гомель находится в зоне заражения (по цезию-137) от 1 до 5  $\text{к}\mu/\text{к}\text{м}^2$  (зона проживания с периодическим радиационным контролем).

Рельеф города в целом равнинный. Он представлен пологоволнистой водно-ледниковой равниной и надпойменной террасой Сожа в правобережной части и низменной аллювиальной равниной в левобережной части. Уклон рельефа с севера на юг (самая высокая отметка 144 м над уровнем моря находится на северной окраине Гомеля; самая низкая 115 м – урез воды реки Сожа). Левобережный Новобелицкий район имеет отметки высот в среднем на 10–15 м ниже, чем северная и центральная части.

В процессе составления экологической карты города Гомеля был выполнен ряд последовательных этапов.

**1. Выбор формы представления карты.** Это первая задача, которую необходимо решить, так как дальнейшие работы будут производиться с учетом выбранной формы представления результатов. Следует выбрать тип карты – стенная (демонстрационная), бумажная, атлас из серии карт, электронная карта и др.; размер и масштаб карты; основу карты (т.е. какое изображение берется за основу составляемой карты – только контуры территории, космический снимок, традиционная карта города, ландшафтная карта города и др.). Решение этих вопросов определяет выбор картографируемых явлений, способов картографического изображения, степень генерализации и др. Для эко-

логической карты Гомеля была выбрана стенная карта 1,5 × 2 м, цветная. В качестве основы карты был выбран космофотоснимок города Гомеля. К его преимуществам перед традиционной картой города можно отнести повышение наглядности, возможность определить конкретную локализацию любого объекта (промышленного, жилого или иного), определить их местоположение относительно источников антропогенного воздействия на окружающую среду, путей переноса загрязнителей от предприятий по преобладающим направлениям ветров, попадание в зону определенной степени трансформации природной среды или остроты экологической ситуации.

**2. Сбор и анализ экологической информации.** Источники информации, анализируемой и используемой для наполнения карты экологическим содержанием, можно разделить на несколько групп:

– фондовые материалы (отчеты) государственных природоохранных учреждений и научно-исследовательских институтов: областных комитетов по природным ресурсам и охране окружающей среды, горрайинспекций, Института природопользования, областных центров по метеорологии и мониторингу окружающей среды, различных лабораторий по экологическому мониторингу природных сред, санитарно-эпидемиологических служб и многих других учреждений, связанных с изучением антропогенного влияния на среду;

– статистические материалы: статистическая отчетность предприятий, статистические сборники и справочники, экологические паспорта, данные стационарных измерительно-наблюдательных сетей и др.;

– литературные материалы: опубликованные в печати монографии, статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных трудов, материалы конференций, ежегодные выпуски экологического бюллетеня [5] и др.;

– материалы дистанционного зондирования Земли: доступные через бесплатную программу Google Earth и другие космические снимки интересующей территории, позволяющие визуально проследить степень нарушенности природной среды и территориальное распространение нарушений (оконтурить территории полигонов отходов, карьеров по добыче полезных ископаемых, изменения природной среды под воздействием выбросов или отвалов промышленных предприятий, например, зону воздействия отвалов фосфогипса Гомельского химического завода);

– картографические материалы – ранее опубликованные карты различных природных сред и их трансформации на данной территории;

– результаты собственных полевых исследований (изучения степени трансформации городской растительности, водоемов, почв, состояния биоиндикаторов и др.).

При создании экологической карты Гомеля нами были использованы фондовые материалы [6, 7], литературные источники (монографии [8–10], статьи в рецензируемых журналах [11–13], материалы конференций [например, 14–16]), космические снимки территории Гомеля, полученные с помощью программы Google Earth, картографические и другие материалы. Были проанализированы три группы карт состояния различных природных компонентов городской среды:

– карты, характеризующие состояние геологической среды (карты процессов подтопления, современных геологических процессов на территории

города, устойчивости геологической среды, состояния эколого-геологических условий) [9, 10, 17];

– карты, характеризующие состояние атмосферы (карта степени загрязнения воздуха на территории Гомеля по данным лишеноиндикации) [8, 11]);

– карты, характеризующие состояние почв (карты концентрации в почвах Гомеля никеля, марганца, кобальта, свинца, меди, цинка, кадмия, ртути, карта зон загрязнения почв по значению  $Z_c$  – суммарному показателю загрязнения почв) [6, 8].

Дополнительно использовались карты размещения промышленных предприятий [6], природных ландшафтов [12], техногенных нагрузок [9], геоморфологическая карта Гомеля [13]. В результате анализа установлены особенности трансформации природной среды Гомеля. Кратко их можно охарактеризовать следующим образом.

*Геологическая среда* Гомеля испытывает нагрузки различной интенсивности. Так, факторы сильного воздействия (промышленные зоны, многоэтажная жилая застройка и транспортные магистрали) занимают чуть больше половины территории города. Эти зоны занимают преимущественно западную и северную части города, а также функциональный центр. Вообще, в западной, северной и северо-западной частях находится подавляющее большинство промышленных предприятий города, в центральной и восточной частях – жилые здания усадебного типа, в пойме Сожа и на окраинах – незастроенные территории. Для южной части характерно чередование факторов высокого, среднего и низкого воздействия. Из современных геологических процессов наиболее развиты дефляция (преимущественно на северо-востоке и западе), гравитационные процессы (северо-запад и юг), затопление и подтопление при паводках, биогенные процессы (север и юго-восток). Опасность техногенного подтопления наибольшая в центральной функциональной зоне (восток центральной части города). Большая часть территории обладает средней устойчивостью геологической среды. В центре и на севере встречаются участки с высокой устойчивостью. В пойме Сожа и в южной части города устойчивость преимущественно низкая. На территории города Гомеля обнаружены крупные запасы пресных гидрокарбонатных и минерализованных сульфатно-хлоридных натриевых вод. Последние добываются и используются в качестве лечебных. На юго-западной окраине Гомеля расположено Осовцовское месторождение песков.

*Атмосферный воздух*, загрязнение которого в целом было оценено по состоянию лишенофлоры, является важным показателем состояния окружающей среды. Степень его загрязнения варьирует от допустимого до опасного уровня. Значительный участок с опасным уровнем загрязнения занимает западную часть города, локальные ареалы с таким же уровнем отмечаются в центральной части города. Зоны сильного и умеренного загрязнения характерны для центра, запада и севера города. На юге такие зоны наблюдаются в виде неширокой полосы вдоль улицы Ильича, особенно на самой южной окраине. Юг города, а также восток и ряд участков в центре относятся к зонам слабого и допустимого загрязнения.

Особенности размещения промышленных предприятий-источников выбросов загрязнителей в атмосферу в значительной степени влияют на формирование ареалов экологических ситуаций. Так, два предприятия, лидирую-

щие по объемам выбросов – Химзавод (1662 т за 2012 г.) и ТЭЦ-2 (1968 т), суммарные выбросы которых составляют 37 % от общего объема выбросов в атмосферу предприятиями города Гомеля, – расположены рядом на западной окраине города. Это факт оказывает крайне неблагоприятное влияние на формирование экологической обстановки, так как Гомель находится в зоне западного переноса, и вследствие этого основная масса выбросов поступает в сторону города. Предприятия, занимающие 2-е и 3-е места по объемам выбросов – Гомельстекло (1496 т в 2012 г.) и Водоканал (612 т), суммарные выбросы которых составляют 21 % от общего объема, – расположены в северной части города. Остальные предприятия также в основном расположены на западе, северо-западе и севере, некоторое количество предприятий – в центральной и южной частях.

*Почвы*, загрязнение которых в целом оценивалось по комплексному показателю  $Z_c$ , также характеризуются значительной неоднородностью концентраций загрязнителей. Слабо загрязненные почвы ( $Z_c$  от 1 до 5) составляют 52,77 % территории города, к данной группе относятся практически все левобережье Сожа (Новобелицкий район), парковые и лугово-парковые ландшафты на правом берегу Сожа (парк культуры и отдыха им. А. В. Луначарского, урочище Пролетарский луг и др.), а также застраиваемые территории. Почвы со средним уровнем загрязнения ( $Z_c$  от 5 до 10) составляют 45,11 % территории города. Ареал довольно обширный, по площади приурочен к правобережью Сожа и включает в себя селитебные территории с малоэтажной застройкой усадебного типа, многоэтажной типично городской застройкой, а также фрагменты промышленной зоны. Почвенный покров с допустимым уровнем загрязнения ( $Z_c$  от 10 до 16) составляет 1,69 % и в основном приурочен к санитарно-защитным зонам промышленных предприятий. Так, на северо-востоке города это ОАО «Коралл», РУП «Гомелькабель», РНПУП «Ратон»; в центре – РУП «Станкостроительный завод им. С. М. Кирова», вагоноремонтный завод, ОАО «Мебельная фабрика «Прогресс»: на ул. Барыкина – предприятия строительного комплекса. Почвы с умеренно опасным загрязнением ( $Z_c$  от 16 до 32), составляющие 0,43 %, в основном сконцентрированы в центральной части города и расположены в пределах промышленных и селитебных ландшафтов вблизи локомотивного депо и дистанции гражданских сооружений.

Проанализированы также распределения концентраций отдельных загрязнителей. Так, например, наибольшее загрязнение никелем отмечено в двух маленьких ареалах в северной части города и на западе центральной части, меди – на севере, марганца – на западе и востоке, хрома – на западе, северо-западе и севере. Вообще, повышенная концентрация большинства загрязнителей тяготеет именно к этим участкам города.

**3. Картографическое представление экологической информации.** При анализе разнородной экологической информации составляется вспомогательная карта, на которую наносятся территориальные локализации факторов, оказывающих благоприятное и неблагоприятное геоэкологическое воздействие на природную среду: природных и техногенных. На карту наносятся предприятия-загрязнители, выделяются ареалы загрязнения атмосферы и почв (интегрального и поэлементных) различной степени, показываются зеленые массивы, водные объекты с обозначением степени их загрязненности, окон-

турируются территории с кризисной экологической ситуацией, вызванные особенно интенсивной деградацией природной среды (карьеры, отвалы промышленных предприятий, полигоны ТБО, поля фильтрации и т.п.), показываются транспортные магистрали, возможно, с ранжированием их по интенсивности движения, выделяются ареалы развития неблагоприятных современных геологических процессов (затопления и подтопления природного и техногенного, дефляции, плоскостной и линейной водной эрозии, гравитационных, биогенных процессов и т.д.). На этой же карте можно показать функциональное зонирование территории города. Результатом этого этапа стала карта экологически вредных и опасных объектов и процессов, локализованных в пределах города. Данная карта в значительной степени перегружена, особенно при использовании многочисленных и разнообразных источников экологической информации, поскольку на ней найдут картографическое отображение все данные, которые использовались для анализа неблагоприятного воздействия природных и антропогенных факторов на природную среду города и оценки ее экологического состояния.

#### **4. Выявление и локализация экологических проблем и ситуаций.**

Анализ факторов и характеристик формирования острых экологических ситуаций сменяется территориальным их синтезом, результатом которого является разделение территории города на участки, характеризующиеся различной остротой экологических ситуаций, различной степенью трансформации природной среды. Целесообразно выделение от 3 до 5–6 таких классов – от низкой до максимальной степени преобразованности. Экологическая обстановка, отображаемая с помощью экологических карт, является синтетическим, обобщающим понятием и не может быть непосредственно измерена [2]. Выделение территорий, относящихся к тому или иному классу, основывается на наборе неблагоприятных экологических факторов в пределах каждой территории, степени их проявления и сочетаний. Таким образом, экологическую ситуацию той или иной остроты формирует соответствующее пространственно-временное сочетание экологических проблем, возникших вследствие неблагоприятного изменения окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

В созданной нами экологической карте города Гомеля территория была разделена на четыре класса по уровню нарушенности природной среды:

а) территории с **критическим уровнем** нарушенности природной среды представлены тремя локальными ареалами на западе города, включающими территорию и окрестности полигона ТБО, разрабатываемый карьер по добыче песков «Осовцы» и территорию Гомельского химзавода (ГХЗ) вместе с промышленными отвалами фосфогипса. ГХЗ является наиболее экологически опасным объектом на территории Гомеля, что обусловлено большим количеством накопленных за период его функционирования токсичных отходов фосфогипса.

Накопление фосфогипса (отхода производства фосфатных удобрений) составило к настоящему времени около 20 млн т. Фосфогипс обладает неприятным запахом, разносится ветром на значительные расстояния, интенсивно загрязняет подземные воды и приводит к деградации прилегающих лесных биогеоценозов. Расположение ГХЗ также оказывает негативное влияние на городскую среду в условиях преобладающего западного переноса воздушных масс;

б) территории с **высоким уровнем** нарушенности охватывают в основном функциональный центр города, его северную, северо-западную и западную части, а также юг Новобелицкого района. В этой зоне размещено наибольшее количество промышленных предприятий города. Происходит интенсивное загрязнение воздуха и почв промышленными и транспортными выбросами, отмечается распространение техногенного подтопления;

в) территории со **средним уровнем** нарушенности включают зоны преимущественно частного сектора в центральной и северо-восточной частях города, основную часть территории Новобелицкого района и большую часть юго-западной части города;

г) территории с **низким уровнем** охватывают ежегодно затопляемые участки поймы Сожа (в силу чего практически не используются и не подвергающиеся значительной техногенной нагрузке), а также территории городских окраин в восточной части города.

**5. Выбор способов картографического изображения, разработка легенды, генерализация.** На данном этапе отбирались те объекты, та информация, которые будут представлены на итоговой карте. Этот выбор зависит от размера и масштаба карты (например, для крупного города с множеством источников выбросов целесообразен показ только крупных предприятий-загрязнителей, для небольшого населенного пункта или небольшой части города – всех источников, находящихся на картографируемой территории), назначения карты, ее тематики и особенностей картографируемой территории. Затем следует выбор способов картографического изображения для передачи явлений, локализованных в точках, на линиях и на площадях, и разработки легенды. Наиболее применимыми для целей экологического картографирования являются способ значков, линейных знаков, качественного и количественного фона, ареалов, локализованных диаграмм, изолиний и псевдоизолиний, картограмм и картодиаграмм, знаков движения [2].

В созданной экологической карте Гомеля объекты, влияющие на состояние окружающей среды, были показаны с помощью наглядных значков (художественных пиктограмм). Такие значки применялись для показа следующих объектов: промышленные предприятия (всего показано 20 основных предприятий-загрязнителей), транспортные предприятия и объекты (9 объектов), источники загрязнения поверхностных вод, полигон ТБО, зеленые зоны (10 объектов), водные объекты (15 объектов). Каждый такой значок был пронумерован, и его номер с названием изображаемого объекта был вынесен в легенду карты. Отдельно линейными знаками были выделены основные автомобильные и железнодорожные магистрали, оконтурены территории полигона ТБО и отвалов фосфогипса Гомельского химзавода.

**6. Размещение дополнительной информации.** Кроме основного содержания, на карте можно разместить также дополнительное, способствующее лучшему пониманию и усвоению причин сформировавшейся экологической ситуации и ее территориальной дифференциации. Нами для этих целей были использованы фотографии особо примечательных объектов – предприятий, отвалов предприятий, полигонов ТБО и карьеров, объектов транспорта, водных объектов или парков и т.д. Фотографии размещали в форме выноски, т.е. прямоугольника на «ножке», которая привязывается к точке на **карте**, соответствующей расположению изображаемого объекта. Нами были на карту

помещены фотографии отвалов фосфогипса Гомельского химзавода, карьера по добыче песков «Осовцы», ТЭЦ-2, Гомельского дворцово-паркового ансамбля, автопарка № 6, заводов «Гомсельмаш», «Гидропривод», «Центролит», железнодорожной инфраструктуры и складов и т.д.

Также на карту были помещены среднегодовая роза ветров для определения положения загрязняющих среду объектов относительно господствующих воздушных потоков, причин формирования тех или иных ареалов загрязнения, выявления особенностей пространственного переноса загрязнителей.

При наличии возможностей в стендовом варианте карт, помимо основной карты, можно поместить в виде дополнительных изображений карты трансформации отдельных компонентов природной среды, распределения отдельных химических элементов, экологического состояния рек и озер, подвергающихся воздействию города, трансформации пригородных лесов и др.; диаграммы, отображающие динамику экологических и медико-демографических показателей. В дополнительные карманы для сменяемой информации на карте можно регулярно помещать текстовые и графические материалы, содержащие регулярно обновляемую актуальную экологическую информацию.

Усовершенствование карты для использования в научных и практических природоохранных целях включает следующие основные направления:

- выделить ареалы, характеризующиеся повышенным загрязнением воздушной среды и почв с указанием цифровыми и буквенными символами вещественного состава и концентрации загрязнителей; уровень загрязненности в ареалах можно показать различными типами штриховки для того, чтобы они визуально не смешивались с зонами, отражающими степень общей трансформированности природной среды;

- для количественной и качественной характеристики источников загрязнения значки (пиктограммы), отображающие предприятия, заменить круговыми диаграммами, размер которых отражает общий объем выбросов, а внутренняя структура – структуру выбросов в абсолютных или приведенных значениях выбросов отдельных компонентов;

- выделить источники и зоны повышенного электромагнитного и акустического загрязнения;

- для характеристики экологического состояния водоемов линейными знаками (для водотоков) и ареалами (для озер и водохранилищ) охарактеризовать классы качества воды, структурными знаками – уровни и состав загрязнения, объемы и состав сбросов; при этом линейные знаки, характеризующие качество воды, могут дифференцироваться по веществам;

- применить другие средства картографических изображений для характеристики различных аспектов воздействия на среду и ее трансформации применительно к конкретной территории.

Таким образом, составление экологической карты города является сложным многоэтапным процессом, требующим всестороннего многократного рассмотрения всех или по крайней мере наиболее значимых, определяющих его состояние и различие, параметров. Экологическая карта города является неотъемлемым элементом в процессе научных исследований, образования, практической деятельности в сфере экологии и охраны природы.

Список литературы

1. **Макаров, В. З.** Эколого-географическое картографирование городов / В. З. Макаров, Б. А. Новаковский, А. Н. Чумаченко. – М. : Новый мир, 2002. – 177 с.
2. **Стурман, В. И.** Экологическое картографирование / В. И. Стурман. – М. : Аспект-Пресс, 2003. – 251 с.
3. Геоэкологическое картографирование / Б. И. Кочуров, Д. Ю. Шишкина, А. В. Антипова, С. К. Костовска ; под ред. Б. И. Кочурова. – М. : Академия, 2009. – 192 с.
4. **Хомич, В. С.** Светлогорск: экологический анализ города / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик, Л. А. Кравчук. – Минск : РУП «Минсктиппроект», 2002. – 212 с.
5. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 2009 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2010. – 397 с.
6. Территориальная схема охраны окружающей среды г. Гомеля и прилегающего района. Раздел «Геохимическое загрязнение почв» : отчет о НИР (заключ.) / Мин. прир. рес. и охраны окр. среды ; РУП «БелНИЦ «Экология» ; рук. В. В. Феденя ; исполн. Д. М. Ерошина [и др.]. – Минск, 2005. – № ГР 20052998.
7. Годовой обзор состояния атмосферного воздуха в г. Гомеле за 2010 год / М-во прир. рес. и охр. окр. среды ; Департамент метеорологии ; Гомельской обл. центр по метеорологии и охране окр. среды. – Гомель, 2011. – 36 с.
8. Природная среда Беларуси : моногр. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2002. – 424 с.
9. **Трацевская, Е. Ю.** Инженерно-геологические условия города Гомеля / Е. Ю. Трацевская. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2005. – 210 с.
10. **Трацевская, Е. Ю.** Закономерности формирования геологических опасностей Беларуси / Е. Ю. Трацевская. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2008. – 121 с.
11. **Кравчук, Л. А.** Опыт индикационной оценки загрязнения атмосферного воздуха на территории г. Гомеля / Л. А. Кравчук, С. В. Какарека // Природные ресурсы. – 1999. – № 3. – С. 136–140.
12. **Павловский, А. И.** Трансформация функций ландшафтов городских поселений / А. И. Павловский, Т. Г. Флерко // Природные ресурсы. – 2008. – № 1. – С. 87–93.
13. **Павловский, А. И.** Геоморфологическая карта территории г. Гомеля / А. И. Павловский, Ж. В. Шныпаркова // Вестник БГУ. Сер. 2. Химия. Биология. География. – 2007. – № 2. – С. 136–139.
14. **Голубева, Т. А.** Экологические проблемы Гомеля / Т. А. Голубева, Д. Б. Сахарова // Региональные проблемы экологии: пути решения : материалы IV Междунар. экол. симпозиума : в 3 т. – Новополоцк, 2007. – Т. 1. – С. 241–245.
15. **Глазачева, Г. И.** Зонирование территории г. Гомеля по степени загрязнения атмосферного воздуха / Г. И. Глазачева // Региональные проблемы экологии: пути решения : материалы IV Междунар. экол. симпозиума : в 3 т. – Новополоцк, 2007. – Т. 1. – С. 26–29.
16. **Желудович, Т. А.** Трансформация поймы реки Сож под влиянием техногенеза в пределах г. Гомеля / Т. А. Желудович // Сотрудничество в области использования природных ресурсов и экологического оздоровления бассейна Днепра : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2011. – С. 129–134.
17. **Красовская, И. А.** Оценка состояния эколого-геологических условий территории г. Гомеля : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / Красовская И. А. – М., 2005. – 29 с.

References

1. Makarov V. Z., Novakovskiy B. A., Chumachenko A. N. *Ekologo-geograficheskoe kartografirovaniye gorodov* [Ecological geographic mapping of cities]. Moscow: Novyuy mir, 2002, 177 p.
2. Sturman V. I. *Ekologicheskoye kartografirovaniye* [Ecological mapping]. Moscow: Aspekt-Press, 2003, 251 p.

3. Kochurov B. I., Shishkina D. Yu., Antipova A. V., Kostovska S. K. *Geoekologicheskoe kartografirovaniye* [Geoecological mapping]. Moscow: Akademiya, 2009, 192 p.
4. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchik T. I., Kravchuk L. A. *Svetlogorsk: ekologicheskiy analiz goroda* [Svetlogorsk: ecological analysis of cities]. Minsk: RUP «Minskipproekt», 2002, 212 p.
5. *Sostoyaniye prirodnoy sredy Belarusi: Ekologicheskiy byulleten' 2009 g.* [State of natural environment of Belarussia: Ecological bulletin 2009]. Ed. V. F. Loginov. Minsk: Minskipproekt, 2010, 397 p.
6. *Territorial'naya skhema okhrany okruzhayushchey sredy g. Gomelya i prilegayushchego rayona. Razdel «Geokhicheskoe zagryazneniye pochv»: otchet o NIR (zaklyuch.), ruk. V. V. Fedenya ; ispoln. D. M. Eroshina et al.* [Territorial scheme of environment protection of Gomel city and the adjoining region. Section “Geochemical soil pollution”: report on research work, supervisor V. V. Fedenya; executive D. M. Eroshina and others]. Minsk, 2005, no. GR 20052998.
7. *Godovoy obzor sostoyaniya atmosfernogo vozdukha v g. Gomele za 2010 god* [Annual review of atmosphere air condition in Gomel city in 2010]. Gomel, 2011, 36 p.
8. *Prirodnaya sreda Belarusi: monogr.* [Natural environment of Belarussia: monograph]. Ed. V. F. Loginov. Minsk, 2002, 424 p.
9. Tratshevskaya E. Yu. *Inzhenerno-geologicheskie usloviya goroda Gomelya* [Engineering-geological conditions of Gomel city]. Gomel: GGU im. F. Skoriny, 2005, 210 p.
10. Tratshevskaya E. Yu. *Zakonomernosti formirovaniya geologicheskikh opasnostey Belarusi* [Regularities of geological threat occurrence in Belarussia]. Gomel: GGU im. F. Skoriny, 2008, 121 p.
11. Kravchuk L. A., Kakareka S. V. *Prirodnye resursy* [Natural resources]. 1999, no. 3, pp. 136–140.
12. Pavlovskiy A. I., Flerko T. G. *Prirodnye resursy* [Natural resources]. 2008, no. 1, pp. 87–93.
13. Pavlovskiy A. I., Shnyarkova Zh. V. *Vestnik BGU. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya* [Bulletin of Belarussia State University. Series 2. Chemistry. Biology. Geography]. 2007, no. 2, pp. 136–139.
14. Golubeva T. A., Sakharova D. B. *Regional'nye problemy ekologii: puti resheniya: materialy IV Mezhdunar. ekol. simpoziuma: v 3 t.* [Regional problems of ecology: solutions: proceedings of IV International ecological symposium: in 3 volumes]. Novopolotsk, 2007, vol. 1, pp. 241–245.
15. Glazacheva G. I. *Regional'nye problemy ekologii: puti resheniya: materialy IV Mezhdunar. ekol. simpoziuma: v 3 t.* [Regional problems of ecology: solutions: proceedings of IV International ecological symposium: in 3 volumes]. Novopolotsk, 2007, vol. 1, pp. 26–29.
16. Zheludovich T. A. *Sotrudnichestvo v oblasti ispol'zovaniya prirodnikh resursov i ekologicheskogo ozdorovleniya basseyna Dnepra: materialy Mezhdunar. nauch-prakt. konf.* [Collaboration in natural resources use and ecological improvement of Dnieper basin: proceedings of the International scientific and practical conference]. Gomel: BelGUT, 2011, pp. 129–134.
17. Krasovskaya I. A. *Otsenka sostoyaniya ekologo-geologicheskikh usloviy territorii g. Gomelya: avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk* [Ecological-geological condition evaluation of Gomel city area: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of geological and mineral sciences]. Moscow, 2005, 29 p.

**Соколов Александр Сергеевич**

ассистент, кафедра экологии,  
Гомельский государственный  
университет им. Франциска Скорины  
(Белоруссия, г. Гомель, ул. Советская, 104)

E-mail: alsokol@tut.by

**Sokolov Aleksandr Sergeevich**

Assistant lecturer, sub-department  
of ecology, Gomel State University  
named after Franzisk Skarina  
(Belarus, Gomel, 104 Sovetskaya str.)

**Хлебин Роман Федорович**  
методист, Гомельский  
государственный областной  
эколого-биологический центр  
детей и молодежи  
(Белоруссия, г. Гомель,  
ул. Ирнинская, 18а)  
E-mail: kh-rom-off@tut.by

**Khlebin Roman Fedorovich**  
Methodologist, Gomel State Regional  
Ecological and Biological Center  
of Children and Youth  
(Belarus, Gomel, 18a Irininskaya str.)

---

УДК 528.9

**Соколов, А. С.**

**Формирование экологических проблем и ситуаций в городе Гомеле и их отражение на комплексной геоэкологической карте / А. С. Соколов, Р. Ф. Хлебин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 125–136.**

### **Вниманию авторов!**

Редакция журнала «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки» приглашает специалистов опубликовать на его страницах оригинальные статьи, содержащие новые научные результаты в области биологии, химии, географии, истории естествознания, а также обзорные статьи по тематике журнала.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows версий не выше 2003.

Необходимо представить статью в электронном виде (VolgaVuz@mail.ru, дискета 3,5", CD-диск) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах.

Оптимальный объем рукописи 10–14 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt через полуторный интервал. Тип файла в электронном виде – RTF.

Статья **обязательно** должна сопровождаться индексом УДК, краткой аннотацией и ключевыми словами **на русском и английском языках**.

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисовочными подписями.

Формулы в тексте статьи выполняются в редакторе формул Microsoft Word Equation, версия 3.0 и ниже. Символы греческого и русского алфавитов должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц – прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования **необходимо** соблюдать и в рисунках. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

В списке литературы **нумерация источников** должна соответствовать **очередности ссылок** на них в тексте ([1], [2], ...). Номер источника указывается в квадратных скобках. В списке указываются:

- для книг – фамилия и инициалы автора, название, город, издательство, год издания, том, количество страниц;
- для журнальных статей, сборников трудов – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала или сборника, серия, год, том, номер, выпуск, страницы;
- для материалов конференций – фамилия и инициалы автора, название статьи, название конференции, время и место проведения конференции, город, издательство, год, страницы.

В конце статьи допускается указание наименования программы, в рамках которой выполнена работа, или наименование фонда поддержки.

К материалам статьи **должна** прилагаться информация для заполнения учетного листа автора: фамилия, имя, отчество, место работы и должность, ученая степень, ученое звание, адрес, контактные телефоны (желательно сотовые), e-mail.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Рукопись, полученная редакцией, не возвращается.

Редакция оставляет за собой право проводить редакторскую и допечатную правку текстов статей, не изменяющую их основного смысла, без согласования с автором.

**Статьи, оформленные без соблюдения приведенных выше требований, к рассмотрению не принимаются.**

### **Уважаемые читатели!**

Для гарантированного и своевременного получения журнала «**Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки**» рекомендуем вам оформить подписку.

Журнал выходит 4 раза в год по тематике:

- **биология**
- **химия**
- **география**
- **история естествознания**

Стоимость одного номера журнала – 500 руб. 00 коп.

Для оформления подписки через редакцию необходимо заполнить и отправить заявку в редакцию журнала: факс (841-2) 36-84-87, тел.: 36-84-87, 56-47-33; E-mail: VolgaVuz@mail.ru

Подписку на первое полугодие 2013 г. можно также оформить по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ» «Газеты. Журналы» тематический раздел «Известия высших учебных заведений». Подписной индекс – 36949.

-----

### **ЗАЯВКА**

Прошу оформить подписку на журнал «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки» на 2013 г.

№ 1 – \_\_\_\_\_ шт., № 2 – \_\_\_\_\_ шт., № 3 – \_\_\_\_\_ шт., № 4 – \_\_\_\_\_ шт.

Наименование организации (полное) \_\_\_\_\_

ИНН \_\_\_\_\_ КПП \_\_\_\_\_

Почтовый индекс \_\_\_\_\_

Республика, край, область \_\_\_\_\_

Город (населенный пункт) \_\_\_\_\_

Улица \_\_\_\_\_ Дом \_\_\_\_\_

Корпус \_\_\_\_\_ Офис \_\_\_\_\_

ФИО ответственного \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Тел. \_\_\_\_\_ Факс \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

Руководитель предприятия \_\_\_\_\_

(подпись)

(ФИО)

Дата «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.