

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 3 (15)

2016

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЯ

- Бармин А. Н., Валов М. В.* Результаты исследований динамики растительного покрова дельты реки Волги, проводимых путём эколого-ботанического профилирования с использованием классификационного подхода Ж. Браун-Бланке 3
- Березовская Г. Б., Коробейникова А. С., Хайсарова А. Н.* Некоторые аспекты многолетней динамики численности фоновых видов грызунов и изменения солнечной активности на примере лесокустарниковых биотопов Ульяновской области 14
- Соловьев В. Б., Володин Р. Н., Столяров А. А.* Функционирование пептидергической системы при физической работе 25
- Иванова А. В.* Иерархичность сложения флор и определение флористического типа территории 38
- Закс С. С., Кузьмин А. А., Титов С. В.* Современное распространение и биотопические предпочтения крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus* Güld.) в Среднем Поволжье 47
- Гришина Ж. В., Генгин М. Т.* Исследование белков и пептидов в личинках трутневого расплода на разных стадиях развития 57

ХИМИЯ

- Попова С. С., Гусева Е. С., Францев Р. К.* Электрохимическое интеркалирование лантана и фуллерена из неводных фторидсодержащих растворов – новое перспективное направление повышения емкости $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ -электрода 64

**UNIVERSITY PROCEEDINGS
VOLGA REGION**

NATURAL SCIENCES

№ 3 (15)

2016

CONTENTS

BIOLOGY

-
- Barmin A. N., Valov M. V.* Results of the Volga river delta's plant cover dynamics research, conducted by ecology-botanic profiling with the J. Brown-Blanke classification approach usage 3
- Berezovskaya G. B., Korobeynikova A. S., Hicarova A. N.* Some aspects of long-term dynamics of the number of background species of rodents and changes in solar activity by the example of forest-scrub biotops of Ulyanovsk region..... 14
- Solovev V. B., Volodin R. N., Stolyarov A. A.* Functioning of the peptidergic system during physical work 25
- Ivanova A. V.* Hierarchical composition of floras and determination of floristic types of territories 38
- Zaks S. S., Kuzmin A. A., Titov S. V.* Actual distribution and biotopic preferences of the speckled ground squirrel (*Spermophilus suslicus* Güld.) in Middle Volga region..... 47
- Grishina Zh. W., Gengin M. T.* A research of proteins and peptides in drone brood larvae at different stages of development 57

CHEMISTRY

-
- Popova S. S., Guseva E. S., Frantsev R. K.* Electrochemical intercalation of lanthanum and fullerene from nonaqueous fluoride solutions – a new perspective direction in improvement of $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ -electrode capacity 64

УДК 911.2:581.9

DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-1

А. Н. Бармин, М. В. Валов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГИ, ПРОВОДИМЫХ ПУТЁМ ЭКОЛОГО-БОТАНИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАССИФИКАЦИОННОГО ПОДХОДА Ж. БРАУН-БЛАНКЕ

Аннотация.

Актуальность и цели. Классификация является одним из ключевых аспектов изучения растительного покрова. С развитием науки о растительности возросло множество классификационных систем, разработанных учёными различных геоботанических школ, многие из которых имели определённые плюсы и минусы при изучении растительных сообществ разных территорий. Наиболее удобной и объективной показала себя система классификации растительности на флористической основе, достигшей наивысшего развития в работах швейцарского ботаника Ж. Браун-Бланке. Целью работы являлось выявление направлений и особенностей динамики растительного покрова дельты реки Волги под влиянием гидрологических, климатических и эдафических факторов.

Материалы и методы. В 1979 г. в восточной части устьевой природной системы реки Волги был заложен стационарный профиль, включающий в себя 496 площадок размером 2×2 м, относимых к лугам низкого, среднего и высокого уровней. Пробные площадки были расположены на расстоянии 15 м друг от друга на экотопах, подверженных влиянию половодий. Для оценки изменения состава растительных сообществ на стационарном профиле травостой каждой из исследуемых площадок был отнесен по присутствию диагностических видов к ассоциациям или субассоциациям, которые были выделены в соответствии с принципами классификации направления Браун-Бланке.

Результаты. За исследуемый период выявлено, что с начала 1980-х по начало 2000-х гг. в дельте Волги наблюдался период повышения увлажнения территории, что повлияло на уменьшение содержания водорастворимых солей в почвах, снижение токсичности почвенного покрова, общее повышение уровня грунтовых вод, что в свою очередь привело к увеличению участия растительных сообществ, относимых к классам *Phragmitetea*, *Bolboschoenetetea maritime* и *Glycyrrhizetea glabrae*, и снижению представленности в травостое солевых выносливых видов растительности класса *Cripsidetea aculeatae*. Однако на современном этапе изменения климата в связи с ростом среднегодовых температур за вегетационный период при одновременном уменьшении увлажнения территории процессы динамики растительного покрова носят противоположную направленность – происходит сокращение участия влаголюбивой растительности классов *Phragmitetea* и *Bolboschoenetetea maritime* и появление ассоциации *Stachyo-Achilletea septentrionalis* (класса *Molinio-Arrhenatheretea*), присутствие которой ранее на профиле не отмечалось. Изменяется и соотношение ассоциаций внутри классов, в частности очень низкие половодья 2014 и 2015 г. (84 и 63 км³ соответственно) привели к полному выпадению из травостоя

ассоциации *Sparganio erecti-Typhetum angustifoliae* (класса *Phragmitetea*), которая ранее относилась к числу абсолютно доминирующих.

Выводы. Результаты многолетних сравнительных наблюдений, направленных на выявление причинно-следственных связей между метеогидрологическими условиями и динамикой растительного покрова, указывают на то, что с 1979 по 2005 г. в районе Нижней Волги наблюдался прохладно-влажный внутривековой природный цикл по типу «брикнеровского», который в настоящее время сменяется тепло-сухой фазой. Данный аспект необходимо учитывать при планировании и корректировке природопользования в Прикаспии.

Ключевые слова: дельта реки Волги, растительный покров, классификация растительности, метод Ж. Браун-Бланке.

A. N. Barmin, M. V. Valov

RESULTS OF THE VOLGA RIVER DELTA'S PLANT COVER DYNAMICS RESEARCH, CONDUCTED BY ECOLOGY-BOTANIC PROFILING WITH THE J. BROWN-BLANKE CLASSIFICATION APPROACH USAGE

Abstract.

Background. Classification is one of the key aspect of land cover research. Many classification systems appeared with development of vegetation science that were worked out by scientists of different geobotanical schools. Many of such systems have definite advantages and disadvantages when studying phytocoenoses in different territories. The most handy and objective was the vegetation classification system on the floristic basis, which achieved the utmost development in the works of a swiss botanist, J. Brown-Blanke. The purpose of the work is to reveal ways and peculiarities of the Volga river delta's plant cover dynamics under the influence of hydrological, climatic and adaphic factors.

Materials and methods. A stationary profile was laid in the eastern part of the Volga river's estuarine natural system in 1979 including 496 areas with the size of 2×2 m which belong to low, mid and high level grounds. Sample areas were located at the distance of 15 m from each other on the ecotopes, influencing the overflow. Grass stands of each of the interest sites were referred by the types of diagnostic existence to association or subassociation in order to defining plant complex content changes in the stationary profile, which was marked in accordance with the Brown-Blanke classification principals.

Results. The article presents the results of phytocoenosis percentage dynamics, obtained during the plant cover investigations. These investigations were made on the stationary axial section in the Volga River delta from 1979 till 2015 using the J. Brown-Blanke approach. It has been discovered that there was a period of a territory sludging increase in the Volga River delta from the beginning of 1980s till the beginning of 2000s that caused a water-soluble salt content reduction in the ground, also a soil continuum toxic level decrease, a ground water aquifers level increase that lead to a phytocoenosis representation increase, refering to *Phragmitetea*, *Bolboschoenetetea maritime* and *Glycyrrhizetea glabrae* and a representation decrease in the grass stand of the vegetation of class *Cripsidetea aculeatae* of the salt-tolerant type. However at the present stage, a growth of the average annual temperature lead to a vegetation period together with a contemporary territory sludging decrease lead to the plant cover dynamic processes having a contrary tendency – there is a decrease of the hydrophilous types of vegetation of class *Phragmitetea* and *Bolboschoenetetea maritime*, and appearance in geobotanic descriptions of the association *Stachyo-Achilletum septentrionalis* (class *Molinio-Arrhenatheretea*), the presence of which

has not been marked in the axial section. Also there are changes in associations' representation inside a class, particularly, very low overflows in years 2014 and 2015 (84 and 63 cubic km) led to a complete spalling from the grass stand of the association *Sparganioerecti-Typhetum angustifoliae* (*Phragmitetea* class), which used to belong to the monodominant before.

Conclusions. The long-term comparative investigations, devoted to revealing the cause-effect relations between meteorohydrological conditions and plant cover dynamics, display that since 1979 till 2005 there was a cool-humid Bruckner-type nature cycle in the lower Volga region, which is changing into a warm-dry one at the moment. This aspect should be taken into consideration when planning and correcting the ecosystem exploitation in the Caspian Sea region.

Key words: Volga River delta, vegetation cover, vegetation classification, J. Brown-Blanke method.

Введение

Разработка естественной классификации растительного покрова требует всестороннего изучения растительных сообществ – их экологии, ботанического состава, структуры, флуктуационной и сукцессионной динамики, особенностей взаимоотношений как между самими растениями, так и с факторами окружающей их среды [1].

Классификация представляет собой необходимый этап любого научного исследования как на начальной его стадии, так и при подведении итогов. Ввиду высокой сложности и разнообразия слагающих растительный покров сообществ классификация является трудоёмким, но вместе с тем очень актуальным процессом [2].

С развитием науки о растительности возникало множество классификационных систем и принципов классификации растительного покрова, разработанных учёными геоботанических школ различных стран мира [3].

В бывшем СССР во избежание плюрализма все геоботанические научные школы были объединены в «единую советскую геоботаническую школу», которую возглавил академик В. Н. Сукачёв. Советские геоботаники в соответствии с теоретическими установками школы использовали принцип классификации по доминантам, что было оправдано для лесных сообществ, где деревья-доминанты устойчивы во времени, но слабо применимы для луговых растительных сообществ, для которых характерна высокая разноточная и сезонная изменчивость со сменой доминантов.

С точки зрения многих учёных, более объективной являлась система классификации растительности на флористической основе, достигшей наивысшего развития в работах швейцарского геоботаника Ж. Браун-Бланке [4].

При данном подходе флористические критерии, играя основную роль, широко дополняются физиономическими аспектами, а также учётом экотопа и особенностями географии растительных сообществ. В соответствии с данным подходом классификация среди всего разнообразия растительных сообществ отражает наиболее типичные, опуская все переходы между ними. Подробные методики классификации описаны, кроме самого Ж. Браун-Бланке, в работах [1, 2, 4, 5].

Подход Браун-Бланке, обладая хорошо развитой редуccionистской методологией, позволяет преобразовать растительный континуум в системы дискретных синтаксонов.

В 1930-е гг. XX в. этот подход стремительно распространился в странах Европы, в 1950-е гг. – в Японии, Северной и Южной Америке, Африке и Австралии.

В бывшем СССР по причине идеологических барьеров метод Ж. Браун-Бланке не признавался и относился к числу «буржуазных» наук. Лишь в 1960–1970-е гг. в связи со сменой политического климата данный метод стал использоваться советскими геоботаниками. В 1980-е гг. после проведения всесоюзной конференции геоботаников, на которой был рекомендован переход на использование международных принципов классификационной системы Браун-Бланке, данный метод получил интенсивное распространение. Лидерское положение при этом заняла уфимская группа геоботаников [1, 4].

В дельте реки Волги классификация растительности с использованием метода Браун-Бланке впервые была проведена В. Б. Голубом. Согласно подходу Браун-Бланке метод выбора площадок для описаний на исследуемой территории должен определяться представлением об экологической специфичности ассоциаций, при этом важное значение имеют биотические, хорологические и экологические факторы, определённым образом влияющие на видовой состав растительных сообществ [1].

В. Б. Голубом были изучены различия в рельефе, почвах, условиях влагообеспеченности и других ландшафтных особенностях дельты Волги и выявлены чётко различимые местообитания и связанный с ними общий характер растительных сообществ. В дальнейшем исследования были продолжены А. Н. Барминым и др.

Материалы и методы

В 1979 г. в восточной части устьевой природной системы реки Волги был заложен стационарный профиль, включающий 496 площадок размером 2×2 м, относимых к лугам низкого, среднего и высокого уровней [6]. Пробные площадки были расположены на расстоянии 15 м друг от друга на экотопах, подверженных влиянию половодий.

Для оценки изменения состава растительных сообществ на стационарном профиле травостой каждой из исследуемых площадок был отнесен по присутствию диагностических видов к ассоциациям или субассоциациям, которые были выделены в соответствии с принципами классификации направления Браун-Бланке. Геоботанические описания во все годы наблюдений проводились в августе.

Данные о метеорологических и гидрологических факторах были получены в Астраханском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, за объём весенне-летних половодий условно понимается сток воды в створе Волгоградской ГЭС за II квартал.

Более подробно методики проведения и результаты предыдущих исследований растительного покрова дельты реки Волги опубликованы в работах [7–18].

Результаты и их обсуждение

Наиболее значительные изменения произошли в составе прибрежных растительных сообществ, экотопы которых хорошо увлажнены (класс *Phragmitetea*). Фитоценозы, относящиеся к ассоциации *Sparganio erecti – Typhetum*

angustifoliae, увеличили своё участие от 1979 к 2002 г. в 6,5 раз, в 2006 и 2011 г., напротив, сократили до 10 %, а в 2015 г. в связи с катастрофически малым объёмом половодья (63 км³) полностью выпали из растительного покрова (табл. 1).

Таблица 1

Динамика растительных сообществ
на стационарном профиле в дельте реки Волги, %

	Синтаксон	1979 г.	1990 г.	1995 г.	2002 г.	2006 г.	2011 г.	2015 г.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кл.	<i>Phragmitetea R. Tx. et Preisig 1942</i>	56	59	58	61	42	43	43
Пор.	<i>Phragmitetalia Koch 1926</i>	56	59	58	61	42	43	43
Союз.	<i>Magnocaricion Koch 1926</i>	56	59	58	61	28	27	12
Асс.	<i>Phalaroido-Scirpetum Golub et Mirkin 1986</i>	49	38	24	26	18	17	12
Асс.	<i>Caricetum gracilis (Almquist 1929) R. Tx. 1937</i>	2	1	5	2	0	0	0
Асс.	<i>Sparganio erecti-Typhetum angustifoliae Golub 1991</i>	5	20	29	33	10	10	0
Союз.	<i>Phragmition communis</i>	0	0	0	0	14	16	31
Асс.	<i>Calystegio-Phragmitetum</i>	0	0	0	0	14	16	29
Асс.	<i>Sagittario-Sparganietum</i>	0	0	0	0	0	0	2
Кл.	<i>Bolboschoenetea maritime Vicherek et R. Tx. ex R. Tx. et Hulb. 1971</i>	16	23	19	21	34	28	30
Пор.	<i>Althetalia officinalis Golub et Mirkin 1986</i>	16	23	19	21	34	28	30
Союз.	<i>Althion officinalis Golub et Mirkin 1986</i>	16	23	19	21	34	28	30
Асс.	<i>Bolboschoeno-Inuletum britannicae Golub, Mirkin 1986</i>	2	9	8	12	13	13	11
Асс.	<i>Bolboschoeno-Glycyrrhizetum echinatae Golub, Mirkin 1986</i>	2	2	3	2	10	4	8
Асс.	<i>Polygono-Aeluropodetum pungentis Golub, Mirkin 1986</i>	12	12	8	7	11	11	11
Кл.	<i>Crypsidetea aculeatae Vecherek 1913</i>	17	7	8	2	3	3	2
Пор.	<i>Crypsidetalia aculeatae Vecherek 1973</i>	17	7	8	2	3	3	2
Союз.	<i>Lepidion latifolii Golub, Mirkin 1986</i>	17	7	8	2	3	3	2
Асс.	<i>Argusio-Phragmitetum Golub, Mirkin 1986</i>	12	4	4	2	0	3	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Асс.	<i>Alismato-Salicornietum</i> <i>Golub 1985</i>	5	3	4	0	3	0	2
Кл.	<i>Glycyrrhizetea glabrae</i> <i>Golub 1986</i>	12	11	15	16	20	24	22
Пор.	<i>Glycyrrhizetalia glabrae</i> <i>Golub 1986</i>	12	11	15	16	20	24	22
Союз.	<i>Glycyrrhizion glabrae</i> <i>Golub 1986</i>	12	11	15	16	20	24	22
Асс.	<i>Lepidio-Cynodontetum</i> <i>Golub 1986</i>	5	5	10	14	2	2	2
Асс.	<i>Suaedo-Petrosimonetum</i> <i>Golub 1986</i>	7	6	5	2	18	22	20
Кл.	<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	0	0	0	0	1	2	3
Асс.	<i>Stachyo-Achilletum</i> <i>septentrionalis</i>	0	0	0	0	1	2	3
Всего		100	100	100	100	100	100	100

До 1995 г. наблюдается увеличение участия фитоценозов, относимых к ассоциации *Caricetum gracilis* (в 2,5 раза), но в связи с продолжающимся увеличением увлажнения территории данные местоположения были замещены фитоценозами ассоциации *Sparganio erecti-Typhetum angustifoliae*, которые формировали монодоминантные сообщества [12]. С 1979 по 2015 г. происходило направленное уменьшение площади, занятой сообществами ассоциации *Phalaroido-Scirpetum* – наиболее ценных по составу травостоя в дельте реки Волги кормовых ресурсов [17].

До 2002 г. данное явление было связано с увеличением увлажненности участков и замещением на более низких местах этих растительных сообществ также фитоценозами ассоциации *Sparganio erecti-Typhetum angustifoliae*. После 2002 г. в связи с сокращением обводненности дельты Волги фитоценозы класса *Phragmitetea* снизили свою площадь в 1,5 раза (до 42–43 %).

За период наблюдений вдвое увеличилось участие фитоценозов, встречаемых на равнинах и невысоких участках дельты на слабо- и среднесоленых почвах, относящихся к классу *Bolboschoenetea maritime*. Увеличение осуществлялось в основном за счёт ассоциации *Bolboschoeno-Inuletum* (от 1979 к 2015 г. представленность фитоценозов этой ассоциации возросла в 15 раз) [12]. С 2006 г. в связи с сокращением объёмов половодий и наметившимся иссушением территории происходит направленное расширение площади, занятой ассоциацией *Stachyo-Achilletum septentrionalis* (класс *Molinio-Arrhenatheretea*), присутствие которой ранее на профиле не отмечалось.

Сообщества, произрастающие на шлейфах бэровских бугров и вершинах невысоких грив, где почвы сильно или очень сильно засолены, относимые к ассоциации *Polygono-Aeluropodetum pungentis* (класс *Bolboschoenetea maritime*), снизили свое участие к 2002 г. в 1,7 раза. После 2002 г. процентное участие ассоциации вернулось к первоначальным значениям 1979 г.

Ассоциация *Bolboschoeno-Glycyrrhizetum echinatae* (класс *Bolboschoenetea maritime*) резко увеличила свою представленность в 2006 г. (в 5 раз

по сравнению с предыдущим периодом наблюдений), после чего (в 2011 и 2015 г.) произошло некоторое снижение её процентного участия [13].

Ассоциации, распространенные на влажных, сырых местах с сильно засоленными почвами (*Argusio-Pragmitetum* и *Alismato-Salicornietum* (класс *Cripsidetea aculeatae*)), устойчиво сокращали свою представленность и к 2015 г. практически исчезли из состава растительного покрова исследуемой территории.

Направленное увеличение на профиле отмечено у фитоценозов, произрастающих на шлейфах бэровских бугров и относимых к классу *Glycyrrhizetea glabrae* [8]. Это является результатом уменьшения пастбищной нагрузки и увеличения количества осадков в весенне-летний период. До 2002 г. возрастание роли данного класса осуществлялось за счёт увеличения ассоциации *Lepidio-Cynodontetum* и сокращения ассоциации *Suaedo-Petrosimietum*. Однако после 2002 г. наблюдается протекание этого процесса в противоположном направлении: процентное участие ассоциации *Suaedo-Petrosimietum* резко увеличилось (в 10 раз), а ассоциации *Lepidio-Cynodontetum* сократилось (в 7 раз) [10].

Выводы

Ботаническое разнообразие представляет собой экологически инвариантную систему, что определяется особенностью экологической структуры водно-аккумулятивных ландшафтов [3]. Динамика представленности классов растительности в дельте реки Волги определяется комплексным влиянием климатических, эдафических и, главным образом, гидрологических условий [7, 8].

Увеличение в растительном покрове фитоценозов, относимых к классам *Phragmitetea* и *Bolboschoenetea maritime* в период с начала ведения мониторинга по начало 2000-х гг. связано с ростом обводнённости дельты реки Волги. Увеличение объёмов и длительности весенне-летних половодий в совокупности с ростом атмосферных осадков в данный период [19, 20] привели к уменьшению содержания водорастворимых солей в почвах, что повлияло на стремительное снижение участия в травостое солевых видов растительности класса *Cripsidetea aculeatae* (рис. 1).

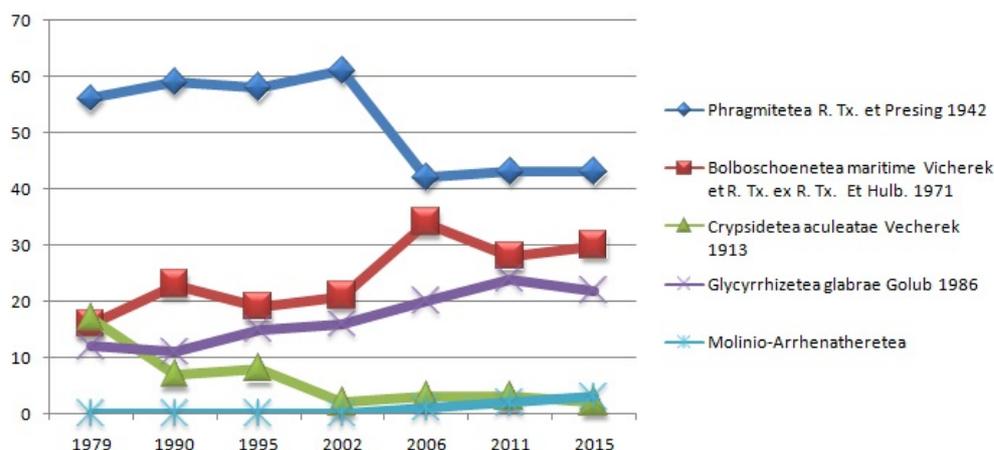


Рис. 1. Динамика классов растительности на стационарном профиле в дельте реки Волги, %

Положительным аспектом для растений классов *Phragmitetea* и *Glycyrrhizetea glabrae* является смена особенностей сенокосения в дельте реки Волги: в настоящее время укосы проводят выборочно, тогда как ранее выкашивалась вся исследуемая площадь [17]. Кроме того, рост уровней подъёма воды за II квартал и увеличение длительности весенне-летних половодий в период до 2005 г. способствовали поднятию уровня грунтовых вод, что также явилось благоприятным фактором для развития растений данных классов.

В последнее десятилетие мониторинга (2006–2015 гг.) в устьевой природной системе реки Волги наблюдается развитие процесса аридизации, что обусловлено ростом среднегодовых температур воздуха, снижением количества атмосферных осадков и сокращением объёмов водного стока за II квартал [7, 10, 11, 19]. Данные гидрометеорологические изменения повлияли на снижение и стабилизацию присутствия на исследуемой территории влаголюбивых фитоценозов, относящихся к классам *Phragmitetea* и *Bolboschoenetetea maritime*. Резкое снижение представленности класса *Phragmitetea* произошло в результате направленного снижения видов растений, относящихся к ассоциации *Sparganio erecti-Typhetum angustifoliae*, которая ранее относилась к числу доминирующих. Очень низкие половодья 2014 и 2015 г. привели к полному выпадению данной ассоциации из травостоя [12].

Растительный покров дельты реки Волги отличается высокой степенью флуктуационной изменчивости и сукцессионных смен [3, 12]. Проведенные исследования ещё раз подчёркивают актуальность и высокую степень эффективности применения метода флористической классификации Ж. Браун-Бланке. Применение этого метода может быть особенно перспективно при изучении динамики растительных сообществ дельты реки Волги и водно-аккумулятивных ландшафтов других регионов.

Список литературы

1. **Миркин, Б. М.** Современная наука о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
2. **Александрова, В. Д.** Классификация растительности. Обзор принципов классификации и классификационных систем в разных геоботанических школах / В. Д. Александрова. – Л. : Наука, 1969. – 275 с.
3. **Залетаев, В. С.** Экосистемы речных пойм: структура, динамика, ресурсный потенциал и проблема охраны : моногр. / В. С. Залетаев, Н. М. Новикова. – М. : РАСХН, 1997. – 597 с.
4. **Миркин, Б. М.** История и концептуальные установки классификации растительных сообществ с использованием подхода Браун-Бланке / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова // *Lethaea rossica*. – 2014. – Т. 9. – С. 21–34.
5. **Mirkin, B. M.** The history of Braun Blanquet approach application and the modern state of syntaxonomy in Russia / B. M. Mirkin, N. V. Ermakov // *Braun-Blanquetia. Recueil de travaux de geobotanique : Review of geobotanical monographs*. – 2010. – Vol. 46. – P. 47–54.
6. **Цаценкин, И. А.** Растительность и естественные кормовые ресурсы Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги / И. А. Цаценкин // *Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги*. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1962. – С. 118–192.
7. **Бармин, А. Н.** Влияние гидрометеорологических и эдафических факторов на динамику фитоценозов лугов низкого уровня дельты реки Волги / А. Н. Бармин, М. В. Валов, Н. С. Шуваев // *Геология, география и глобальная энергия*. – 2015. – № 3 (58). – С. 15–25.

8. **Бармин, А. Н.** Геосистемный мониторинг почвенно-растительного покрова как фактор снижения рисков и обеспечения устойчивого функционирования дельтовых ландшафтов (на примере лугов среднего уровня дельты реки Волги) / А. Н. Бармин, М. В. Валов, Е. А. Бармина, И. В. Куренцов, И. В. Романов, М. В. Романова // Материалы докладов участников Международной молодёжной научной школы «Технологии экологического развития». – М. : МАКС-Пресс, 2015. – С. 107–119.
9. **Бармин, А. Н.** Современные тенденции динамики почвенно-растительного покрова лугов высокого экологического уровня дельты реки Волги / А. Н. Бармин, М. В. Валов, Е. А. Бармина, И. В. Куренцов, И. В. Романов, М. В. Романова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки. – 2015. – № 3 (13). – С. 29–38.
10. **Бармин, А. Н.** Природно-антропогенная трансформация растительного покрова дельтовых ландшафтов реки Волги / А. Н. Бармин, М. В. Валов, М. М. Иолин, Н. С. Шуваев // Географический вестник. – 2016. – № 1. – С. 78–86.
11. **Бармин, А. Н.** Особенности каузального характера связей гидрологического режима и динамики растительных сообществ интразональных ландшафтов аридных территорий (на примере лугов среднего уровня дельты реки Волги) / А. Н. Бармин, М. В. Валов, М. М. Иолин, Е. А. Бармина, И. М. Куренцов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. – 2016. – № 4 (34). – С. 39–47.
12. **Валов, М. В.** Современные тенденции динамики долгопоемных фитоценозов дельтовых экосистем реки Волги / М. В. Валов, А. Н. Бармин, Е. А. Бармина, А. Ю. Колотухин, И. М. Куренцов // Российский журнал прикладной экологии. – 2015. – № 3. – С. 3–7.
13. **Валов, М. В.** Циклические изменения динамики растительного покрова дельтовых ландшафтов реки Волги (на примере луговых фитоценозов среднего экологического уровня) / М. В. Валов, А. Н. Бармин, А. Ю. Колотухин // Учёные записки Крымского Федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. – Симферополь, 2016. – Т. 2 (68), № 1. – С. 99–108.
14. **Голуб, В. Б.** Итоги пятнадцатилетних наблюдений за условиями среды и составом растительных сообществ в дельте р. Волги / В. Б. Голуб, А. Н. Бармин, В. Н. Пилипенко, Г. А. Лосев, И. А. Рухленко // ИЭВБ. – М., 1993. – 107 с.
15. **Голуб, В. Б.** Оценка изменений растительности средней части дельты р. Волги / В. Б. Голуб, А. Н. Бармин // Ботанический журнал. – 1994. – Т. 79, № 10. – С. 84–90.
16. **Голуб, В. Б.** Некоторые аспекты динамики почвенно-растительного покрова дельты р. Волги / В. Б. Голуб, А. Н. Бармин // Экология. – 1995. – № 2. – С. 156–159.
17. **Голуб, В. Б.** Оценка динамики растительности в дельте реки Волги / В. Б. Голуб, К. А. Старичкова, А. Н. Бармин, М. М. Иолин, А. Н. Сорокин, Л. Ф. Николайчук // Аридные экосистемы. – 2013. – № 19 (56). – С. 58–68.
18. **Голуб, В. Б.** Использование информационных технологий в синтаксономии / В. Б. Голуб, А. Н. Сорокин // Современное состояние основных концепций науки о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова. – Уфа : АН РБ Гилем, 2012. – С. 211–216.
19. **Бармин, А. Н.** Устьевая область реки Волги: интегральная оценка некоторых природных и антропогенных факторов, влияющих на изменение гидрологического режима / А. Н. Бармин, М. В. Валов // Естественные науки. – 2015. – № 2. – С. 7–15.
20. **Barmin, A. N.** Concerning global climate change: ninety-year trend of some climatic characteristics in the delta ecotones of the Caspian Sea region / A. N. Barmin, M. V. Valov, N. S. Suvaev, E. A. Kolchin // IGCP 610 Third Plenary Conference and

Field Trip “From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary” (Russia, Astrakhan, 22–30 September 2015) / ed. by A. Gilbert, V. Yanco-Hombach, T. Yanina. – Moscow : MSU, 2015. – P. 26–29.

References

1. Mirkin B. M., Naumova L. G., Solomeshch A. I. *Sovremennaya nauka o rastitel'nosti* [Modern vegetation science]. Moscow: Logos, 2001, 264 p.
2. Aleksandrova V. D. *Klassifikatsiya rastitel'nosti. Obzor printsipov klassifikatsii i klassifikatsionnykh sistem v raznykh geobotanicheskikh shkolakh* [Vegetation classification. A review of classification principles and classification systems at various geobotanical schools]. Leningrad: Nauka, 1969, 275 p.
3. Zaletaev V. S., Novikova N. M. *Ekosistemy rechnykh poym: struktura, dinamika, resursnyy potentsial i problema okhrany: monogr.* [Ecosystems of river bottomlands: structure, dynamics, resource potential and protection: monograph]. Moscow: RASKhN, 1997, 597 p.
4. Mirkin B. M., Naumova L. G. *Lethaea rossica*. 2014, vol. 9, pp. 21–34.
5. Mirkin B. M., Ermakov N. B. *Braun-Blanquetia. Recueil de travaux de geobotanique: Review of geobotanical monographs*. 2010, vol. 46, pp. 47–54.
6. Tsatsenkin I. A. *Priroda i sel'skoe khozyaystvo Volgo-Akhtubinskoy poymy i del'ty r. Volgi* [Nature and agriculture of the Volga-Akhtuba bottomland and the Volga river delta]. Moscow: Izd-vo Mosk. gos. un-ta, 1962, pp. 118–192.
7. Barmin A. N., Valov M. V., Shuvaev N. S. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, geography and global energy], 2015, no. 3 (58), pp. 15–25.
8. Barmin A. N., Valov M. V., Barmina E. A., Kurentsov I. V., Romanov I. V., Romanova M. V. *Materialy dokladov uchastnikov Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy shkoly «Tekhnologii ekologicheskogo razvitiya»* [Proceedings of the International youth scientific school “Technologies of ecological development”]. Moscow: MAKS-Press, 2015, pp. 107–119.
9. Barmin A. N., Valov M. V., Barmina E. A., Kurentsov I. V., Romanov I. V., Romanova M. V. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11. Estestvennyye nauki* [Bulletin of Volgograd State University. Series 11. Natural sciences]. 2015, no. 3 (13), pp. 29–38.
10. Barmin A. N., Valov M. V., Iolin M. M., Shuvaev N. S. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical bulletin]. 2016, no. 1, pp. 78–86.
11. Barmin A. N., Valov M. V., Iolin M. M., Barmina E. A., Kurentsov I. M. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennyye nauki* [Proceedings of Belgorod State University. Natural Sciences]. 2016, no. 4 (34), pp. 39–47.
12. Valov M. V., Barmin A. N., Barmina E. A., Kolotukhin A. Yu., Kurentsov I. M. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* [Russian journal of applied ecology]. 2015, no. 3, pp. 3–7.
13. Valov M. V., Barmin A. N., Kolotukhin A. Yu. *Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya* [Proceedings of Crimea Federal University named after V. I. Vernadsky. Geography. Geology]. Simferopol, 2016, vol. 2 (68), no. 1, pp. 99–108.
14. Golub V. B., Barmin A. N., Pilipenko V. N., Losev G. A., Rukhlenko I. A. *Itogi pyatnadsatiletnikh nablyudeniy za usloviyami sredy i sostavom rastitel'nykh soobshchestv v del'te r. Volgi* [Results of 15-years-long observations of environmental conditions and the composition of associations in the Volga river delta]. Moscow, 1993, 107 p.
15. Golub V. B., Barmin A. N. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal]. 1994, vol. 79, no. 10, pp. 84–90.
16. Golub V. B., Barmin A. N. *Ekologiya* [Ecology]. 1995, no. 2, pp. 156–159.
17. Golub V. B., Starichkova K. A., Barmin A. N., Iolin M. M., Sorokin A. N., Nikolaychuk L. F. *Aridnyye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2013, no. 19 (56), pp. 58–68.

18. Golub V. B., Sorokin A. N. *Sovremennoe sostoyanie osnovnykh kontseptsiy nauki o rastitel'nosti* [Modern condition of principal conceptions of vegetation science]. Ufa: AN RB Gilem, 2012, pp. 211–216.
19. Barmin A. N., Valov M. V. *Estestvennye nauki* [Natural sciences]. 2015, no. 2, pp. 7–15.
20. Barmin A. N., Valov M. V., Suvaev N. S., Kolchin E. A. *IGCP 610 Third Plenary Conference and Field Trip "From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary"* (Russia, Astrakhan, 22–30 September 2015). Moscow: MSU, 2015, pp. 26–29.

Бармин Александр Николаевич

доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности, Астраханский государственный университет (Россия, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1)

E-mail: abarmin60@mail.ru

Barmin Alexander Nikolaevich

Doctor of geographical sciences, professor, head of sub-department of ecology, nature management, land management and life safety, Astrakhan State University (1 Shaumyana square, Astrakhan, Russia)

Валов Михаил Викторович

аспирант, Астраханский государственный университет (Россия, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1)

E-mail: m.v.valov@mail.ru

Valov Mikhail Viktorovich

Postgraduate student, Astrakhan State University (1 Shaumyana square, Astrakhan, Russia)

УДК 911.2:581.9

Бармин, А. Н.

Результаты исследований динамики растительного покрова дельты реки Волги, проводимых путём эколого-ботанического профилирования с использованием классификационного подхода Ж. Браун-Бланке / А. Н. Бармин, М. В. Валов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 3 (15). – С. 3–13. DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-1

Г. Б. Березовская, А. С. Коробейникова, А. Н. Хайсарова

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ
ЧИСЛЕННОСТИ ФОНОВЫХ ВИДОВ ГРЫЗУНОВ
И ИЗМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ
НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОКУСТАРНИКОВЫХ БИОТОПОВ
УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Аннотация.

Актуальность и цели. Изучение и прогноз численности грызунов является актуальной задачей теории динамики популяций и имеет значение для сельского хозяйства и эпидемиологии. В работе были проанализированы данные по численности фоновых видов грызунов лесокустарниковых биотопов Ульяновской области за период с 1972 по 2015 г. в сопоставлении с изменением солнечной активности. Установленная связь позволяет использовать индексы солнечной активности при составлении прогноза численности.

Материалы и методы. В исследовании были использованы данные по численности грызунов лесокустарниковых биотопов за 1972–2015 гг., собранные в рамках работы зоологов ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ульяновской области» по стандартной методике, а также значения чисел Вольфа, с официального сайта: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>. При анализе данных применялись непараметрические статистические методы, спектральный и автокорреляционный анализ.

Результаты. В лесокустарниковых биотопах Ульяновской области было зафиксировано 12 видов мышевидных грызунов. В анализ были включены данные по численности трех фоновых видов. В ходе работы было установлено, что численности этих видов изменяются синхронно и имеют достоверную взаимосвязь средней силы. При помощи спектрального и автокорреляционного анализа была установлена цикличность в динамике численности рыжей полевки и желтогорлой мыши. Наиболее выражена эта цикличность для рыжей полевки. Изменения численности рыжей полевки и желтогорлой мыши имеют слабую отрицательную взаимосвязь с изменениями солнечной активности ($r = -0,37$; $t = 2,6$; $p = 0,01$). Найденные закономерности позволяют предположить снижение численности грызунов лесокустарниковых биотопов Ульяновской области в период с 2016 по 2019 г. до среднепогодных значений и увеличение численности в последующие годы.

Выводы. В динамике численности желтогорлой мыши и рыжей полевки в лесокустарниковых биотопах Ульяновской области наблюдается двух- и трехлетняя цикличность. Численность рыжей полевки и желтогорлой мыши связана с изменениями солнечной активности. При увеличении солнечной активности наблюдается снижение численности этих видов. Найденные закономерности позволяют построить прогноз изменения численности грызунов лесокустарниковых биотопов Ульяновской области.

Ключевые слова: динамика численности, солнечная активность, циклы численности, прогнозирование.

G. B. Berezovskaya, A. S. Korobeynikova, A. N. Hicarova

**SOME ASPECTS OF LONG-TERM DYNAMICS
OF THE NUMBER OF BACKGROUND SPECIES
OF RODENTS AND CHANGES IN SOLAR ACTIVITY
BY THE EXAMPLE OF FOREST-SCRUB BIOTOPS
OF ULYANOVSK REGION**

Abstract.

Background. To study and forecast the number of rodents is an important task of the theory of population dynamics that has implications for agriculture and epidemiology. The article analyzes the data on the number of background species of rodents in forest-scrub biotops of Ulyanovsk region for the period from 1972 to 2015 in comparison with changes in solar activity. The established connection allows to use the solar activity index in compiling the estimates.

Materials and methods. The authors used the data on the number of rodents in forest-scrub biotops in 1972–2015, collected by zoologists of the Center of hygiene and epidemiology of Ulyanovsk region by the standard method. The researchers also used the values of Wolf numbers from the official website: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>. Nonparametric statistical methods, spectral and autocorrelation analyses were applied to analyze the data.

Results. In forest-scrub biotops of Ulyanovsk region there were recorded 12 species of rodents. The analysis included the data on the number of 3 background types. In the course of the study it has been found that the numbers of these populations change simultaneously and have a significant relationship of moderate strength. With the help of spectral and autocorrelation analyses there has been established a cyclicity in the population dynamics of the bank vole and the yellow-necked mouse. Such cyclicity is more pronounced for the bank vole. Changes in the number of the bank vole and the yellow-necked mouse have a weak negative relationship with changes in solar activity ($r = -0,37$; $t = 2,6$; $p = 0,01$). The found regularities allow to assume a decrease in the number of rodents in forest-scrub biotops of Ulyanovsk region in the period from 2016 to 2019 to average long-term values and an increase in the number in subsequent years.

Conclusions. In population dynamics of the yellow-necked mouse and the bank vole in forest-scrub biotopes of Ulyanovsk region, there is a two or three-year cycle. The number of the yellow-necked mouse and the bank vole is associated with changes in solar activity. With increasing solar activity there is a decrease in these populations. The found regularities allow to build a forecast of changes in the number of rodents in forest-scrub biotopes of Ulyanovsk region.

Key words: dynamics, solar activity, abundance cycles, forecasting.

Введение

Численность вида на определенной территории подвергается закономерным изменениям. Это явление изучается теорией динамики популяций – одной из наиболее развитых областей современной экологии [1].

Изучение и прогноз численности грызунов является актуальной задачей теории динамики популяций и имеет не только научный интерес, но и значение для сельского хозяйства и эпидемиологии.

При анализе динамики численности важно определить, являются ли колебания численности циклическими и какие факторы влияют на эти колебания [2]. Знание факторов, влияющих на динамику изменения численности вида, позволяет строить прогноз.

Подробно история вопроса изучения факторов динамики численности грызунов была освещена О. А. Жигальским [3]. Гипотезы о механизмах регуляции численности в популяциях мелких млекопитающих автор делит на две группы: гипотезы, определяющиеся внешними по отношению к популяции факторами, и гипотезы, определяющиеся внутривидовыми механизмами. Считается, что экзогенные факторы определяют существование нециклических колебаний численности, эндогенные – циклических с периодом в 3–4 года [2], так как в колебаниях климата отдельных областей не обнаруживаются коротких циклов в 3–4 года. Таким образом, краткосрочная циклическость в динамике объяснима только внутренними механизмами [3, 4]. Однако до сих пор нет четкого представления о реализации этих механизмов в природе [3, 5].

Из экзогенных факторов в динамике численности наиболее важна роль кормовой базы, климата, антропогенных факторов, хищников, эпизоотии болезней, межвидовых взаимоотношений, пространственного распределения [3]. Влияние этих факторов изучено достаточно подробно [3]. На сегодняшний день многие исследователи склоняются к точке зрения, что динамика численности имеет многофакторную регуляцию [3, 5]. При этом внешним воздействиям отводится роль ограничивающих (определяющих численность) факторов, а внутривидовым – роль гомеостатических механизмов, приводящих поголовье популяции в соответствие с уровнем, определяемым внешними условиями [3].

Получение подробных климатических данных, данных урожайности злаков и т.д., а также комплексная оценка их влияния на динамику численности популяции для многих зоологов представляется сложной задачей.

Многие зоологи обращали внимание на связь изменений численности грызунов с солнечной активностью [6–10]. Несмотря на то что эта связь неоднократно подвергалась критике [6, 11], не вызывает сомнения влияние солнечной активности на ряд земных процессов [12, 13]. В первую очередь это климатические изменения [12–14]. Климатические колебания оказывают влияние на биологические факторы, такие как продуктивность экосистем [10, 12, 15]. Таким образом, солнечная активность может оказывать опосредованное влияние на численность грызунов.

В настоящее время этой проблеме посвящается мало работ [10]. Однако данные солнечной активности легкодоступны и, на наш взгляд, удобны для использования при построении прогноза.

В архивах Ульяновского центра Госсанэпиднадзора были накоплены многолетние данные по численности грызунов. Наиболее полно представлены данные по лесокустарниковым биотопам.

В связи с этим целью данной работы послужила попытка выявить особенности многолетней динамики численности фоновых видов грызунов лесокустарниковых биотопов на территории Ульяновской области и установить связь между изменениями их численности и солнечной активностью.

Материалы и методы

В ходе анализа были использованы результаты учетов численности грызунов на территории Ульяновской области за период с 1972 по 2015 г., собранные в рамках работы зоологов ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ульяновской области». Сбор материала проводился ежегодно весной и осенью по стандартной методике [16] с использованием малых ловушек Геро на шести стационарах, расположенных в смешанном лесу, который представлен в основном лиственными породами (клен, липа, дуб, береза, осина) со слабо выраженным подлеском и бедным травяным покровом.

Стационары находились на территории Ульяновского (3–5 км на восток от с. Ундоры – стационар «Ундоровская з/о»; 5 км на запад от ст. Охотничья – стационар «Ст. Охотничья»), Мелекесского (2–4 км на запад от г. Димитровграда – стационар «НИИАР»; 5–7 км на северо-восток от г. Димитровграда – стационар «Курланская з/о»), Кузоватовского (1–3 км к северо-востоку от с. Красная Балтия – стационар «Красная Балтия») и Сурского районов (5–10 км к юго-востоку от с. Сурское – стационар «Белый Ключ») (рис. 1).

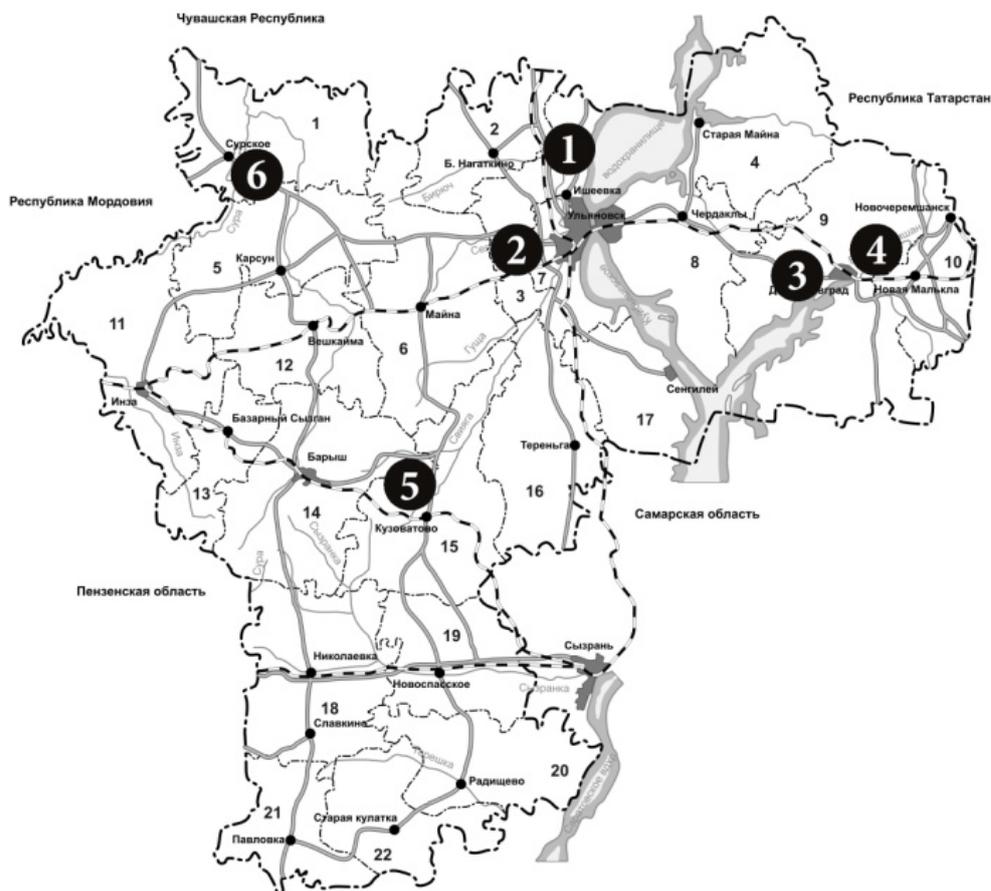


Рис. 1. Расположение стационаров на территории Ульяновской области:

1 – «Ундоровская з/о»; 2 – «Ст. Охотничья»; 3 – «НИИАР»;
4 – «Курланская з/о»; 5 – «Красная Балтия»; 6 – «Белый Ключ»

Всего за изучаемый период времени было отработано 217 136 ловушко-суток, поймано 29 361 особей. Определение зверьков проводили с использованием определителей И. М. Громова и М. А. Ербаевой [17] и Н. В. Быстраковой и др. [18]. За показатель численности принимали число особей, попавших в пересчете на 100 ловушко-ночей [16].

За показатели солнечной активности были приняты числа Вольфа. Значения чисел Вольфа были взяты с официального сайта: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.

Для выявления связей численностей видов грызунов между собой и с изменениями солнечной активности применяли непараметрические статистические методы (коэффициент ранговой корреляции Спирмена). Анализ временных рядов проводили при помощи автокорреляционного и спектрального анализа [4, 16]. Исходные данные предварительно логарифмировали, так как распределение годовых показателей численности уклонялось от нормального (соответствие проводили с помощью критерия Колмогорова – Смирнова). Все вычисления проводились с использованием программного пакета Statistica 6.0 for Windows.

Результаты и обсуждение

Всего за учетный период в лесокустарниковых биотопах Ульяновской области было отловлено 12 видов мышевидных грызунов: *Myodes glareolus*, *Sylvaemus uralensis*, *Apodemus agrarius*, *Sylvaemus flavicollis*, *Mycrotus arvalis* s. l., *Micromys minutus*, *Cricetus cricetus*, *Mycrotus oeconomus*, *Dryomys nitidula*, *Cricetulus migratorius*, *Arvicola amphibius*.

Как известно, «ядро» сообщества составляют наиболее многочисленные и постоянные обитатели данного биотопа. Наиболее многочисленные виды в лесокустарниковых биотопах на территории Ульяновской области – *M. glareolus*, *S. uralensis*, *S. flavicollis* и *A. agrarius*. Их доли в сообществе составляют соответственно 58,3; 18,8; 6,5 и 5,8 %. Однако *A. agrarius* не является типично лесным видом, отрицательный коэффициент ее биотопической приуроченности в данном типе местообитаний региона (–0,3) говорит о склонности к избеганию лесокустарниковых биотопов. Доли в сообществе остальных видов незначительны, однако частота встречаемости в течение обследованных лет различна. В связи с этим в анализ динамики численности были включены три вида – *M. glareolus*, *S. uralensis* и *S. flavicollis*.

Амплитуда колебания численности *M. glareolus* оказалась максимальной (в связи с большим значением показателя относительной численности) и составила 25,2 %, среднее значение численности по годам за весь период наблюдений в лесокустарниковых биотопах – 8,5 % (рис. 2). Амплитуда колебания численности *S. uralensis* составила 7,9 %, среднее значение по годам – 3 % (рис. 3). Средняя численность *S. flavicollis* по годам – 1,1 %, амплитуда колебания численности – 3,9 % (рис. 4).

Наличие цикличности в ряду данных можно определить методом автокорреляционного и спектрального анализа [2]. Автокорреляционный анализ численности рыжей полевки показывает периодическую компоненту в 3, 6 и 11 лет с индексами цикличности 0,31; 0,28 и 0,26 соответственно. Это означает, что наблюдаются подъемы численности полевки каждые 3, 6 и 11 лет. Нетрудно предположить, что циклы в 6 и 11 лет состоят из нескольких трех-

летних циклов. Функция считается периодической, если ее индекс цикличности по модулю больше 0,5 [2], однако в ряде работ показано, что численность вида может быть циклической и при более низких индексах цикличности [4], которые в большей степени отражают амплитуду колебаний численности, чем их регулярность или длину периода [19]. Спектральный анализ показывает достоверные циклы с периодом 2,93 и 2,75 лет, что соответствует результатам автокорреляционного анализа (рис. 2).

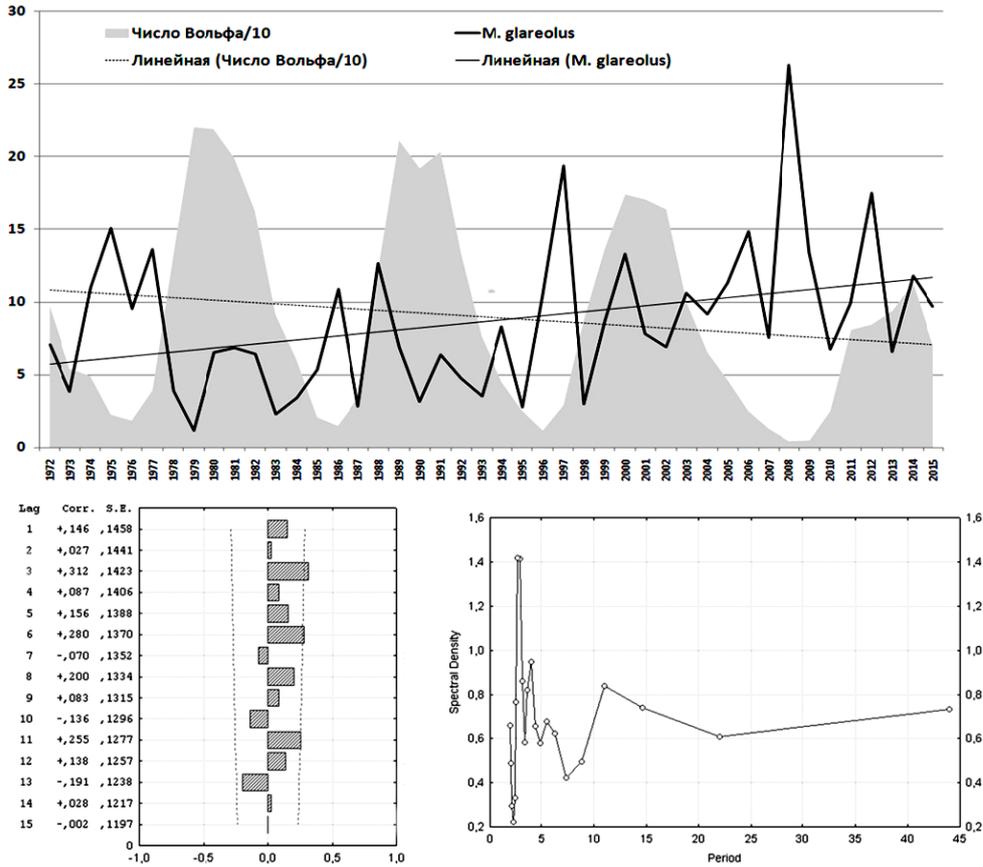


Рис. 2. Динамика численности рыжей полевки в лесокустарниковых биотопах Ульяновской области в сопоставлении с изменением солнечной активности (данные чисел Вольфа взяты с официального сайта: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>).
Внизу слева – коррелограмма численности рыжей полевки, справа – спектральная плотность численности рыжей полевки

В динамике численности лесной мыши в лесокустарниковых биотопах Ульяновской области достоверных циклических изменений выявлено не было. Автокорреляционная функция показывает наличие выраженной сезонной компоненты (тенденции к увеличению численности вида за рассмотренный период времени). Удаление этой компоненты позволяет обнаружить цикличность в 10 и 11 лет, что не подтверждается спектральным анализом. Спектральный анализ не показывает достоверной цикличности в ряду численности данного вида (рис. 3).

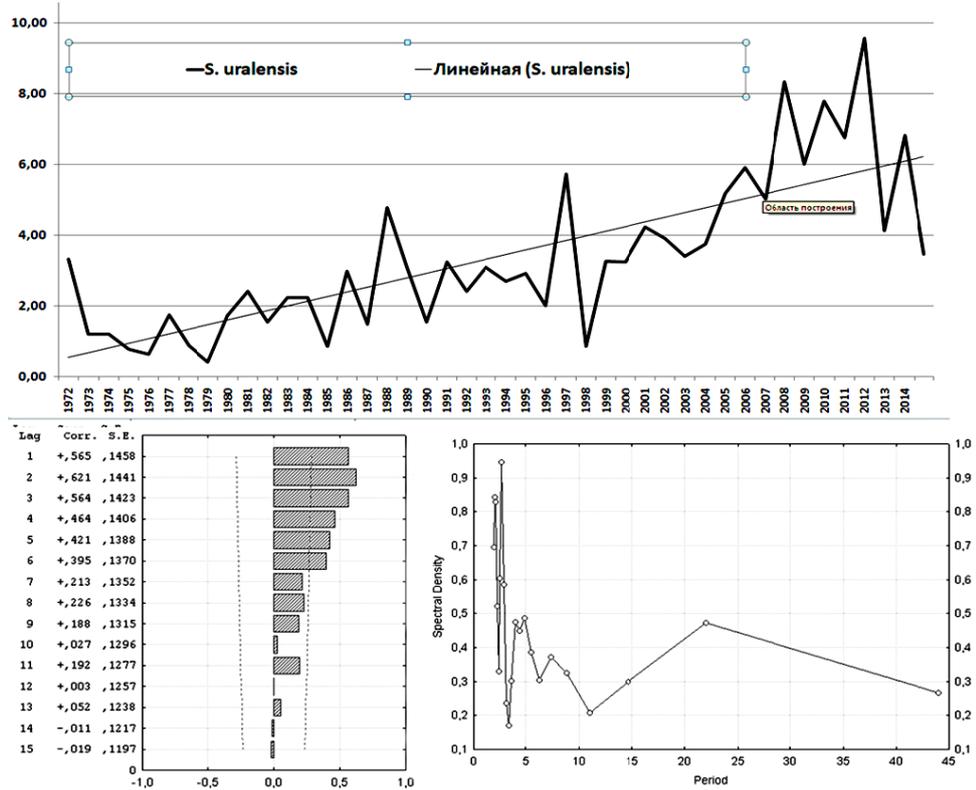


Рис. 3. Динамика численности лесной мыши в лесостепных биотопах Ульяновской области. Внизу слева – коррелограмма численности лесной мыши, справа – спектральная плотность численности лесной мыши

При расчете автокорреляционной функции для ряда численности желтогорлой мыши значимыми оказались периоды в два года с коэффициентом корреляции 0,35. Это означает, что подъемы численности мышей регистрируются каждые два года. Спектральный анализ выявил достоверные высокочастотные циклы в 2,8; 3,2; 3,5 и 3,8 года (рис. 4).

Таким образом, достоверно определяются трехлетние циклы численности для рыжей полевки и желтогорлой мыши. Такие циклы (2–4 года) связывают с эндогенными регулирующими факторами [3].

Многoletние изменения численности грызунов, образующих многовидовые сообщества, могут быть синхронными [3]. Выявление взаимосвязи колебаний численности отдельных видов между собой может служить основой для предположения о наличии общих факторов, обуславливающих изменения численности этих видов. Расчет коэффициентов ранговой корреляции Спирмена показывает наличие положительной связи средней силы между рядами изменений численности трех видов. Для рядов численности рыжей полевки и желтогорлой мыши коэффициент корреляции оказался равным 0,66 ($t = 5,75$; $p = 0,000001$), для рядов численности рыжей полевки и лесной мыши – 0,53 ($t = 4,08$; $p = 0,0002$), для рядов численности лесной мыши и желтогорлой мыши – также 0,53 ($t = 4,02$; $p = 0,0002$). Эти данные говорят о синхронности изменений численности рассмотренных видов грызунов, что может быть свя-

зано с влиянием внешних факторов среды, таких как кормовые, трофические и климатические. Эти факторы прямо или косвенно связаны с изменением солнечной активности.

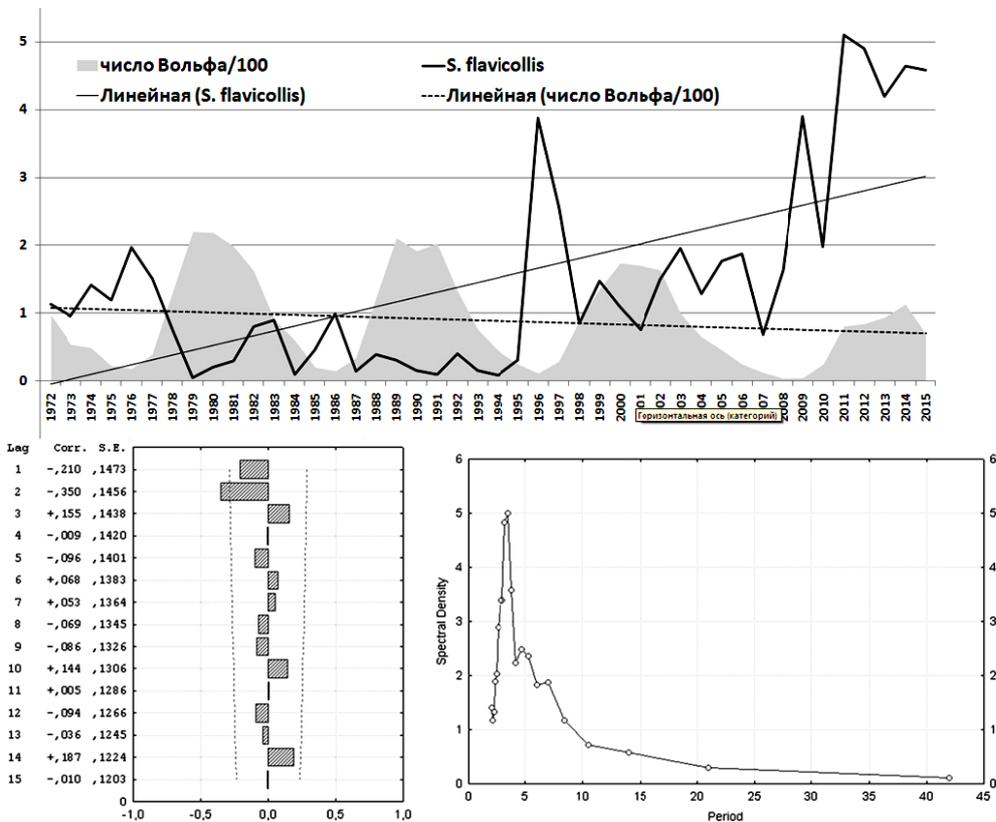


Рис. 4. Динамика численности желтогорлой мыши в лесостепарниковых биотопах Ульяновской области в сопоставлении с изменением солнечной активности. Внизу слева – коррелограмма численности желтогорлой мыши, справа – спектральная плотность численности

Доказательство связи солнечной активности с численностью грызунов в дополнение к выявленным коротким циклам численности грызунов может служить одним из элементов при построении прогноза динамики численности последних.

Из рассматриваемых рядов данных связь с изменением солнечной активности была установлена для динамики численности рыжей полевки и желтогорлой мыши. При этом значения коэффициентов ранговой корреляции Спирмана составили $-0,37$ ($t = 2,6$; $p = 0,01$ и $t = 2,8$; $p = 0,01$) для обоих видов, что говорит о наличии слабой отрицательной статистической связи динамики численности этих видов с изменением солнечной активности. Сходные результаты были получены другими зоологами [6, 9, 10]. Исходя из этого изменения солнечной активности можно брать во внимание при построении прогнозов численности рыжей полевки и желтогорлой мыши в лесостепарниковых биотопах Ульяновской области.

Найденные закономерности позволяют предположить снижение численности грызунов лесокустарниковых биотопов Ульяновской области в период с 2016 по 2019 г. до среднесреднегодичных значений и увеличение численности в последующие годы.

Выводы

В ходе работы установлено, что численность трех фоновых видов мышевидных грызунов лесокустарниковых биотопов Ульяновской области изменяется синхронно. Расчет коэффициентов ранговой корреляции Спирмена показывает наличие положительной связи средней силы между рядами изменений численности этих видов. В динамике численности рыжей полевки и желтогорлой мыши в лесокустарниковых биотопах Ульяновской области наблюдается цикличность с периодом в три и два года соответственно. Изменения численности рыжей полевки и желтогорлой мыши имеют слабую отрицательную связь с изменениями солнечной активности ($r = -0,37$; $t = 2,6$; $p = 0,01$). Полученные данные можно использовать при прогнозировании численности этих видов в лесокустарниковых биотопах Ульяновской области.

Список литературы

1. **Пузаченко, Ю. Г.** Представления теории динамики численности популяции как основа организации исследований / Ю. Г. Пузаченко // Экология популяций: структура и динамика : материалы Всерос. совещания. – М., 1995. – Т. 1. – С. 96–143.
2. **Hansson, L.** Gradient in density variations of small rodents: the importance of latitude and snow cover / L. Hansson, H. Henttonen // Oecologia. – 1985. – Vol. 67, № 3. – P. 394–402.
3. **Жигальский, О. А.** Анализ популяционной динамики мелких млекопитающих / О. А. Жигальский // Зоологический журнал. – 2002. – № 9. – С. 1078–1106.
4. **Бобрецов, А. В.** Динамика численности красной полевки (*Clethrionomys rutilus*, Rodentia) в Северном Предуралье за полувековой период / А. В. Бобрецов // Зоологический журнал. – 2009. – Т. 88, № 9. – С. 1115–1126.
5. **Пантелеев, П. А.** Динамика численности грызунов: возможные пути к решению проблемы / П. А. Пантелеев // Сибирский экологический журнал. – 2008. – № 1. – С. 195–203.
6. **Максимов, А. А.** Динамика численности и ритмы эпизоотий у грызунов в сопоставлении с циклами солнечной активности / А. А. Максимов // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. – М. : Наука, 1971. – С. 63–74.
7. **Максимов, А. А.** Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз / А. А. Максимов. – Новосибирск : Наука, 1977. – 248 с.
8. **Максимов, А. А.** Соотношение между учением о факторах динамики численности животных и проблемой долгосрочного прогнозирования всплеск массовых размножений / А. А. Максимов // Экология. – 1982. – № 1. – С. 38–45.
9. **Селюнина, З. В.** Многолетний мониторинг численности мышевидных грызунов Черноморского заповедника / З. В. Селюнина // Вестник зоологии. – 2003. – Т. 37, № 2. – С. 23–30.
10. **Антонец, Н. В.** Прогнозирование численности мелких млекопитающих и солнечная активность / Н. В. Антонец, А. К. Балаев, М. С. Шумакова // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2013. – Вып. 8. – С. 106–113.
11. **Межжерин, В. А.** Динамика численности животных и построение прогнозов / В. А. Межжерин // Экология. – 1979. – Т. 3. – С. 3–11.

12. Дружинин, И. П. Переломы многолетнего хода природных процессов на Земле и резкие изменения солнечной активности / И. П. Дружинин // Вопросы географии. – 1970. – № 79. – С. 15–51.
13. Наговицын, Ю. А. Квазипериодические проявления солнечной активности на различных временных шкалах : дис. ... д-ра физ.-мат. наук / Наговицын Ю. А. – СПб., 2006. – 244 с.
14. Возовик, Ю. И. О повторяемости событий в процессе развития ландшафтов во времени / Ю. И. Возовик // Вопросы географии. – 1970. – № 79. – С. 3–14.
15. Битвинская, Т. Т. Дендроклиматические исследования / Т. Т. Битвинская. – Л. : Гидрометеоздат, 1974. – 171 с.
16. Карасева, Е. В. Методы изучения грызунов в полевых условиях / Е. В. Карасева, А. Ю. Телицина, О. А. Жигальский. – М. : ЛКИ, 2008. – 416 с.
17. Громов, И. М. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Зайцеобразные и грызуны / И. М. Громов, М. А. Ербаева. – СПб. : Наука, 1995. – 641 с.
18. Быстракова, Н. В. Определитель мышевидных млекопитающих (отряд Насекомоядные, Грызуны) Среднего Поволжья : метод. пособие / Н. В. Быстракова, О. А. Ермаков, С. В. Титов. – Пенза : Изд-во ПГПУ, 2008. – 54 с.
19. Jedrzejewski, W. Rodent cycles in relation to biomass and productivity of ground vegetation and predation in the Palearctic / W. Jedrzejewski, B. Jedrzejewska // Acta theriol. – 1996. – Vol. 41, № 1. – P. 1–34.

References

1. Puzachenko Yu. G. *Ekologiya populyatsiy: struktura i dinamika: materialy Vseros. soveshchaniya* [Ecology of populations: structure and dynamics: proceedings of the All-Russian council]. Moscow, 1995, vol. 1, pp. 96–143.
2. Hansson L., Henttonen H. *Oecologia*. 1985, vol. 67, no. 3, pp. 394–402.
3. Zhigal'skiy O. A. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 2002, no. 9, pp. 1078–1106.
4. Bobretsov A. V. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 2009, vol. 88, no. 9, pp. 1115–1126.
5. Pantelev P. A. *Sibirskiy ekologicheskij zhurnal* [Siberian ecological journal]. 2008, no. 1, pp. 195–203.
6. Maksimov A. A. *Vliyanie solnechnoy aktivnosti na atmosferu i biosferu Zemli* [Solar activity impact on the Earth's atmosphere and biosphere]. Moscow: Nauka, 1971, pp. 63–74.
7. Maksimov A. A. *Mноголетние колебания численности животных, их причины и прогноз* [Perennial fluctuations of animal numbers, its causes and forecasts]. Novosibirsk: Nauka, 1977, 248 p.
8. Maksimov A. A. *Ekologiya* [Ecology]. 1982, no. 1, pp. 38–45.
9. Selyunina Z. V. *Vestnik zoologii* [Bulletin of zoology]. 2003, vol. 37, no. 2, pp. 23–30.
10. Antonets N. V., Balaev A. K., Shumakova M. S. *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana* [Ecosystems, their optimization and protection]. 2013, iss. 8, pp. 106–113.
11. Mezherin V. A. *Ekologiya* [Ecology]. 1979, vol. 3, pp. 3–11.
12. Druzhinin I. P. *Voprosy geografii* [Geographical issues]. 1970, no. 79, pp. 15–51.
13. Nagovitsyn Yu. A. *Kvaziperiodicheskie proyavleniya solnechnoy aktivnosti na razlichnykh vremennykh shkalakh: dis. d-ra fiz.-mat. nauk* [Quasiperiodic manifestations of solar activity at various time scales: dissertation to apply for the degree of the doctor of physical and mathematical sciences]. Saint-Petersburg, 2006, 244 p.
14. Vozovik Yu. I. *Voprosy geografii* [Geographical issues]. 1970, no. 79, pp. 3–14.
15. Bitvinskaya T. T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic research]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 171 p.

16. Karaseva E. V., Telitsina A. Yu., Zhigal'skiy O. A. *Metody izucheniya gryzunov v polevykh usloviyakh* [Rodent study methods in field conditions]. Moscow: LKI, 2008, 416 p.
17. Gromov I. M., Erbaeva M. A. *Mlekopitayushchie fauny Rossii i sopredel'nykh territoriy. Zaytseobraznye i gryzuny* [Mammals of Russia and adjacent territories]. Saint-Petersburg: Nauka, 1995, 641 p.
18. Bystrakova N. V., Ermakov O. A., Titov S. V. *Opredelitel' myshevidnykh mlekopitayushchikh (otryad Nasekomoyadnye, Gryzuny) Srednego Povolzh'ya: metod. posobie* [Middle Volga region's murine mammals identification guide: learner's guide (Insectivora, Rodentia)]. Penza: Izd-vo PGPU, 2008, 54 p.
19. Jedrzejewski W., Jedrzejewska B. *Acta theriol.* 1996, vol. 41, no. 1, pp. 1–34.

Березовская Галина Борисовна

кандидат биологических наук, старший преподаватель, кафедра биологии человека и основ медицинских знаний, Ульяновский государственный педагогический университет им. И. Н. Ульянова (Россия, г. Ульяновск, пл. 100-летия со дня рождения В. И. Ленина, 4); зоолог эпидемиологического отдела, Центр гигиены и эпидемиологии в Ульяновской области (Россия, г. Ульяновск, ул. Пушкирева, 5)

E-mail: fragilis@list.ru

Berezovskaya Galina Borisovna

Candidate of biological sciences, senior lecturer, sub-department of human biology and medical knowledge foundations, Ulyanovsk State Pedagogical University named after I. N. Ulyanov (4 100-letiya so dnya rozhdeniya V. I. Lenina square, Ulyanovsk, Russia); zoologist of the epidemiological division, Center of Hygiene and Epidemiology of Ulyanovsk region (5 Pushkareva street, Ulyanovsk, Russia)

Коробейникова Адель Семеновна

независимый исследователь

E-mail: fragilis@list.ru

Korobeynikova Adele Semenovna

Independent researcher

Хайсарова Анна Николаевна

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

E-mail: an_stolyarova@mail.ru

Hicarova Anna Nikolaevna

Postgraduate student, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 574.34

Березовская, Г. Б.

Некоторые аспекты многолетней динамики численности фоновых видов грызунов и изменения солнечной активности на примере лесокустарниковых биотопов Ульяновской области / Г. Б. Березовская, А. С. Коробейникова, А. Н. Хайсарова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 3 (15). – С. 14–24. DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-2

УДК 577.156

DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-3

В. Б. Соловьев, Р. Н. Володин, А. А. Столяров

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПЕПТИДЕРГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

Аннотация.

Актуальность и цели. Целью данной статьи является формирование обзора результатов современных экспериментальных работ по изучению изменений в пептидергической системе при физической работе. За сорок лет изучения данной проблемы многие первоначально кажущиеся противоречивыми экспериментальные данные позволяют сегодня сформировать гипотезу цепной активации системы при систематических физических нагрузках.

Материалы и методы. В обзоре представлены результаты широкого спектра исследований уровней регуляторных пептидов, пептидных гормонов в крови, животных тканях, а также концентрации мРНК предшественников пептидов и активности ферментов обмена регуляторных пептидов.

Результаты. Результаты нашего анализа позволяют сделать вывод, что комплексная активация пептидергической системы представляет собой центральный адаптационный механизм, включающийся при регулярной физической работе у спортсменов высокой квалификации.

Выводы. Представленная схема показывает преобладающую адаптационную роль части пептидергической системы, связанной с модуляцией функций нервной системы, что дает нам возможность сформулировать гипотезу о «физически тренированной нервной системе».

Ключевые слова: пептидергическая система, регуляторные пептиды, гормоны, пептидгидролазы, физическая работа.

V. B. Solovev, R. N. Volodin, A. A. Stolyarov

FUNCTIONING OF THE PEPTIDERGIC SYSTEM DURING PHYSICAL WORK

Abstract.

Background. The purpose of this article is to review the results of modern experimental studies of changes in the peptidergic system during physical work. Over forty years of studying this problem, many experimental data, originally seeming contradictory, today allow us to form a hypothesis of chain activation of the system during systematic physical loads.

Materials and methods. This review presents the results of a wide range of researches of levels of regulatory peptides, peptide hormones in blood, animal tissues, as well as the concentration of mRNA of peptides precursors and activities of enzymes taking part in peptides exchange.

Results. As a result the authors suggest that complex activation of the peptidergic system is an important adaptive mechanism that activates during systematic physical work in highly skilled athletes.

Conclusions. The given scheme shows the predominant adaptive role of the link of the peptidergic system associated with the regulation of the nervous system that allows us to formulate the hypothesis of a “physically trained nervous system”.

Key words: peptidergic system, regulatory peptides, hormones, peptidhydrolyses, physical exercise.

К настоящему времени показано, что физическая работа вызывает значительные изменения в работе многих систем организма [1, 2]. Первыми на физическую активность откликаются системы, комплексно регулирующие все физиологические функции организма. На сегодняшний день довольно полно изучена роль нейромедиаторных систем в контроле функционального состояния при физической работе. Неоднократно высказывались предположения, что значительные перестройки происходят на уровне всех компонентов пептидергической системы – концентрации нейропептидов, ростовых и гормональных факторов пептидной природы и активности ферментов их обмена, но закономерность данных изменений не охарактеризована.

В первых работах, посвященных изучению влияния физических нагрузок на уровень регуляторных пептидов, было показано увеличение концентрации β -эндорфина и мет-энкефалина в крови спортсменов после продолжительного бега и было описано их участие в системе реакций, происходящих при физической активности [3, 4]. Далее было выявлено, что увеличение уровня β -эндорфина в крови нетренированных людей при совершении интенсивных физических упражнений не связано с повышением уровня данного нейропептида в центральной нервной системе (ЦНС) [5].

Позже было подтверждено важное участие опиоидергической системы в снижении интенсивности болевого ответа, модуляции иммунной системы и регуляции мотивационных реакций при физической нагрузке [1, 6], причем было отмечено, что увеличение уровня эндогенных опиоидных пептидов может происходить не только в сыворотке крови, но и в нервной системе, особенно при повторяющихся физических упражнениях. Об этом свидетельствует изменение уровня эндогенных опиатов в головном мозге животных и увеличение концентрации β -эндорфина в цереброспинальной жидкости у крыс после физической работы в эксперименте [7].

Hoffmann и другие показали, что регулярное (несколько раз в сутки на протяжении пяти недель) вращение колеса крысами активизирует энкефалинергические и динорфинергические элементы в ЦНС, повышая содержание мет-энкефалина в участках спинного мозга [8].

По данным Bruchas, систематическое плавание крыс до полного утомления вызывает выраженное увеличение (в 3,9 раз) уровня динорфина в стриатуме [9].

Kanarek и соавторы представили интересные результаты, подтверждающие активацию системы эндогенных опиоидных пептидов в нервной системе при выполнении интенсивной систематической физической работы. Установлено, что у крыс с ограниченным доступом к пище на фоне длительных интенсивных нагрузок и введения анальгетиков опиоидной природы регистрировались более выраженные реакции синдрома отмены, усиленные налоксоном, по сравнению с контрольной группой, в то время как у экспериментальной группы происходил рост толерантности [10].

Достаточно подробно показана корреляция степени повышения концентрации эндогенных опиоидных пептидов в плазме крови с продолжительностью и интенсивностью физической активности и временем суток. Установлено, что максимальное увеличение уровней мет-энкефалина и β -эндорфина происходит во второй половине дня при длительной физической работе в условиях максимального потребления кислорода (95 % VO_2 max) [11].

К настоящему времени имеется большой объем экспериментальных данных, свидетельствующий о разных реакциях опиоидной системы на физическую нагрузку у людей разной степени тренированности. Показаны отличия в секреции нейропептида FF из надпочечников спортсменов и неспортсменов при осуществлении силовых нагрузок и двигательной работы [11], что позволило сделать вывод о вовлечении системы эндогенных опиатов в адаптационные процессы, происходящие при систематических физических нагрузках.

Физическая активность вызывает увеличение концентрации целого ряда нейропептидов в отделах ЦНС и в крови человека и животных. Woie и соавторы показали, что концентрация вазоактивного интестинального пептида (ВИП) в сыворотке крови повышалась как после осуществления однократной кратковременной физической работы в аэробной зоне (20-минутная работа на велоэргометре), так и после регулярной продолжительной аэробной физической работы (ежедневная 180-минутная езда на велосипеде в течение семи дней). Максимальное повышение уровня ВИП происходит на пятой минуте после завершения упражнений [12].

Содержание ВИП в периферической крови повышалось во время и после физической работы и, по-видимому, происходило независимо от повышения данного пептида в нервной системе. Результаты экспериментов Vucinskaite показали, что ежедневный 5-часовой бег в экспериментальной модельной системе, осуществляемый крысами на протяжении трех недель, не приводил к повышению концентрации ВИП в гипокампе, в то время как содержание нейропептида Y, нейрокина А и вещества Р в данном отделе мозга значительно увеличивались [13].

По данным Wilson, рефлекторное статическое сокращение мышцы triceps surae у кошек в течение 10 минут вызывает увеличение содержания вещества Р в спинном мозге животных. Эти данные легли в основу предположения, что вещество Р выполняет функции сенсорного медиатора, участвующего в передаче информации о повреждении от периферических болевых рецепторов в ЦНС [14]. Lind и сотрудники показали повышение уровня вещества Р в крови спортсменов во время марафонского бега. Максимальное повышение концентрации вещества Р происходило только через 30 минут после окончания работы [15].

К настоящему времени известно, что нейропептид Y и катехоламины синтезируются в ответ на стресс. Levenson и сотрудники показали, что при длительной регулярной физической работе (вращение колеса крысами 3–4 часа в день в течение 18 недель в эксперименте) происходило усиление экспрессии матричной РНК нейропептида Y в надпочечниках [16]. Показано повышение концентрации нейропептида Y в крови нетренированных женщин при выполнении физических упражнений максимальной мощности до полного утомления (работа на велоэргометре) [17].

Одну из главных ролей в адаптационных перестройках при физических нагрузках играет гипоталамо-гипофизарно-надпочечнико-гонадная система. Установлено, что ее активация при физической работе ведет к повышению уровней гормонов гипофиза и рилизинг-факторов гипоталамуса [18].

В работах Park и соавторов описано, что при интенсивной физической работе у нетренированных людей (плавание с повышающейся скоростью)

происходит повышение уровня АКТГ в сыворотке крови во время и после теста на протяжении 2, 4 и 6 недель ежедневных тренировок, но максимальное повышение концентрации данного гормона в крови происходит на начальных этапах систематической физической работы [18].

Duclos и соавторы показали, что содержание АКТГ в крови высококвалифицированных спортсменов также повышается при выполнении физической работы на выносливость [19].

Неоднократно показана корреляция степени изменения синтеза и секреции АКТГ с интенсивностью и продолжительности физической работы. В работе Farrell и сотрудников было показано, что у нетренированных мужчин и женщин после работы на велотренажере с нагрузкой 40–100 % VO_{2max} происходило повышение концентрации АКТГ после того, как интенсивность упражнений достигала 80 % от максимального потребления кислорода (МПК) [20].

De Meirleir и сотрудники продемонстрировали согласованное повышение уровней АКТГ и β -эндорфина в сыворотке крови при высокоинтенсивных нагрузках на велотренажере при имитации атмосферного давления на высоте 4300 м и при нормальном давлении. Выполнение физической работы в условиях острой гипоксии и гипобарии не вызывало изменений концентраций АКТГ и β -эндорфина. На основании этого была сформирована гипотеза, что секреция АКТГ может играть важную роль в адаптации к физической работе на умеренных высотах [21].

Результаты Watanabe и соавторов свидетельствуют, что после выполнения тренировочной программы на протяжении 12 недель у участников исследований наряду с увеличением уровня максимального потребления кислорода было обнаружено снижение выделения АКТГ при осуществлении работы с субмаксимальной нагрузкой. Это согласуется с менее выраженным увеличением содержания АКТГ при максимальных физических нагрузках у высококвалифицированных спортсменов. На основании этих результатов можно предположить, что ежедневные интенсивные нагрузки приводят к хронической гиперсекреции АКТГ и гиперфункции надпочечников, т.е. физическая тренировка ведет к запуску специфических адаптационных механизмов, таких как способность переносить более высокие нагрузки при меньшей активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы [22].

Содержание соматотропного гормона (СТГ) в крови при физической работе повышается [22, 23]. Было установлено, что при сравнении программ занятий с применением системы упражнений для мышц всего тела можно охарактеризовать несколько факторов, которые сильнее всего влияют на повышение уровня СТГ. К ним относятся сочетание высокого объема физической работы, короткое время для отдыха (1 минута между подходами к выполнению упражнений) и использование средней величины отягощений.

Работы Weltman и др. показывают, что при выполнении нетренированными мужчинами коротких отрезков работы максимальной мощности (езда на велосипеде с возрастающей скоростью до полного утомления) происходило значительное повышение уровня СТГ в крови. Концентрация СТГ оставалась повышенной на протяжении 24 часов после завершения работы [24]. В публикациях Jugimae и соавторов отмечается, что кратковременная интенсивная физическая работа (гребля в течение 30 минут) ведет к значительному увеличению концентрации СТГ у нетренированных людей [25]. Подавление

секреции СТГ, вызванное систематической физической работой, наблюдается уже через три недели тренировочных занятий. Тем не менее у спортсменов, работающих в анаэробном режиме, отмечено повышение общей суточной (на протяжении 24 часов) секреции СТГ, которое происходило даже в дни, свободные от физической работы [26].

Силовая физическая работа с короткими интервалами для отдыха (1 минута между подходами и упражнениями), средним уровнем интенсивности и комплексом из 8–10 упражнений для мышц всего тела вызывает выраженное изменение уровня СТГ в сыворотке крови. Большая часть публикаций по данному направлению была посвящена исследованию изменений концентрации соматотропина в период восстановления (более 2 часов после завершения занятия) [6].

Установлено, что интенсивные силовые нагрузки ведут к увеличению секреции СТГ в период с 23.00 до 03.00. В это время происходит небольшое угнетение секреции СТГ, но интенсивность биосинтеза гормона не меняется. Далее происходит подавление синтеза соматостатина и увеличение выделения СТГ, синтез и накопление которого происходили в то время, когда секреция была подавлена [26].

Максимальные абсолютные концентрации СТГ после физических нагрузок у женщин и мужчин не отличаются, тем не менее уровень прироста секреции по отношению к начальной концентрации у мужчин выше [26]. Возраст и ожирение значительно снижают секрецию, вероятно за счет модификации метаболических сигналов и эффектов трех ее основных компонентов: соматолиберина, соматостатина и жрелина [24].

Большое количество публикаций сообщают об увеличении уровня вазопрессина в крови при физической работе. По-видимому, физическая нагрузка стимулирует секрецию гормона путем изменения осмотического давления и объема плазмы. Результаты исследований Michelini показали, что интенсивность физических упражнений достаточно сильно влияет на секрецию гормона, при этом увеличение интенсивности выброса наблюдается только при интенсивности более 45–70 % от МПК [27]. В других работах было описано, что физическая работа с низкими нагрузками также может изменять секрецию вазопрессина [28]. Показано увеличение концентрации вазопрессина, а также других вазоактивных веществ (альдостерона, атриального натрийуретического пептида и ангиотензина II) непосредственно и сразу после выполнения высокоинтенсивной силовой работы [29]. Увеличенный уровень вазопрессина в крови наблюдается у спортсменов высокой квалификации в спокойном состоянии по сравнению с нетренированными людьми.

Работы Gutkowska показали, что систематическая продолжительная физическая нагрузка (вращение колеса с увеличивающейся скоростью по 5 часов в день в течение 18 недель) в гипоталамусе крыс увеличивает уровень экспрессии генов, отвечающих за биосинтез окситоцина и вазопрессина [30]. Результаты исследований Douglas с использованием разных моделей физической работы у крыс выявили, что продолжительная физическая работа высокой интенсивности приводила к существенному повышению концентрации окситоцина не только в крови, но и в некоторых отделах головного мозга (в стволе содержание гормона увеличивалось в 3,4 раза, в гипофизе – в 2,7 раза), а также в спинном мозге (в 4,5 раза) [29].

Снижение содержания лептина в крови происходило при кратковременной интенсивной аэробной физической работе (гребля в течение 30 минут) [25]. Краемаг и соавторы установили отсутствие изменений в уровне лептина при непродолжительной физической нагрузке средней интенсивности (езда на велосипеде в течение 1 часа). Осуществление регулярной продолжительной физической работы умеренной мощности (ежедневная 45-минутная езда на велосипеде в течение 12 недель) приводит к выраженному уменьшению содержания лептина в сыворотке крови только у женщин. Вероятно, данный факт связан с изменениями в балансе энергии и усилением интенсивности метаболизма липидов [31].

Регулярные физические нагрузки ведут к существенному повышению уровня инсулина в крови во время и после физической работы. При однократной физической работе содержание гормона изменяется незначительно, а в ряде случаев даже снижается [32]. Повышение уровня инсулина у спортсменов, по-видимому, представляет собой адаптацию к систематическим физическим нагрузкам и обеспечивает своевременное стабильное поступление глюкозы из крови к работающей мускулатуре.

Концентрация инсулина в крови после спринтерского бега увеличивается более существенно у женщин, чем у мужчин. Содержание СТГ после физической работы также повышалось, но максимальное увеличение у женщин наблюдалось после первого спринта, а у мужчин максимальное содержание соматотропина происходило после третьего старта [26].

Работы Lavoie свидетельствуют, что однократная физическая нагрузка высокой интенсивности не изменяет содержание глюкагона в крови [33].

Charbonneau и сотрудники показали, что длительная ежедневная физическая работа с постепенно повышающейся интенсивностью нагрузок (двухчасовое вращение колеса крысами с конечной скоростью 26 м/мин. в течение 6 недель) приводит к выраженному повышению концентрации инсулина (до 500 пмоль/л) и глюкагона (в среднем до 900 пмоль/л) в крови [34]. Holloszy и соавторы сообщают, что ежедневное плавание в течение десяти недель с низкой интенсивностью не вызывало изменений концентрации глюкагона у спортсменов ни во время занятия, ни после них. При осуществлении аналогичной работы с возрастающей интенсивностью до полного утомления происходило заметное повышение содержания глюкагона. Результаты работ с участием больных сахарным диабетом показали, что концентрация глюкагона не изменялась во время выполнения упражнений [35].

Повышение концентраций лютеинизирующего гормона (ЛГ) и фолликулостимулирующего гормона (ФСГ) при физической работе представляет собой адаптационную перестройку, так как данные половые гормоны в комплексе со стероидными половыми гормонами оказывают мощное влияние на мотивационное поведение, а также регулируют баланс катаболизм/анаболизм. Установлено, что степень изменения концентраций данных гормонов зависит от интенсивности и продолжительности физической работы [36].

К настоящему времени известно, что физические нагрузки вызывают повышение экспрессии мРНК ростовых факторов в нервной системе и тканях организма. Исследования с крысами, которым осуществляли введение ингибиторов нейротрофических факторов BDNF и NT-3, показали, что при ежедневном 5-часовом вращении колеса в течение двух недель интенсивность

экспрессии данных генов в спинном мозге восстанавливалась на 99 %. Физическая работа, как было показано в других исследованиях, оказывает влияние на синтез VEGF в клетках нервной ткани. Efthimiadou и сотрудники показали, что у крыс, плавающих от 5 минут в первый день до 60 минут на десятый день в течение 15 дней, наблюдается значительное усиление экспрессии мРНК ростовых факторов VEGF и FGF- β , что приводит к увеличению массы тела, прежде всего за счет мышечной ткани [37]. Эксперименты на крысах с кратковременным электростимулированием мышцы triceps surae показали повышение экспрессии мРНК BDNF и FGF. Это дает основания предполагать, что данные ростовые факторы играют важную роль в адаптации мышечных волокон к физическим нагрузкам.

McKaу и соавторы показали, что кратковременная физическая нагрузка максимальной мощности увеличивает экспрессию мРНК MGF, миогенина и IGF-I в мышцах. Максимальное увеличение содержания мРНК MGF наблюдается через 24 часа после физической работы, а повышение уровня мРНК миогенина и IGF-I до максимума происходило спустя трое суток [38]. Установлено, что вызванное физической работой повышение уровня IGF-I наблюдается уже через 15 минут после начала аэробных нагрузок при интенсивности упражнений ниже и выше лактатного порога. Концентрация IGF-I достигает максимума гораздо раньше, чем уровень соматотропина. Через 60–90 минут после завершения работы содержание IGF-I уменьшается и плавно возвращается к исходному уровню. В других работах было показано уменьшение содержания IGF-I в крови после длительной физической работы высокой интенсивности [6].

В заключение можно сделать вывод, что физическая работа приводит к существенным перестройкам в функционировании пептидергической системы, выражающимся в повышении уровней регуляторных пептидных молекул, причем в большинстве случаев эти изменения могут более чем в десять раз отличаться от нормальных показателей. Большая часть описанных изменений наблюдается при остром стрессе, однако наблюдаемое при хроническом стрессе истощение секреторных систем совершенно отсутствует при систематических физических нагрузках.

Анализ накопленных к настоящему времени данных позволяет выделить в адаптационных изменениях два вида реакций:

– кратковременные, срочные, осуществляющие модуляцию ноцицептивных реакций, участвующие в контроле основного метаболизма и работы сердечно-сосудистой системы непосредственно во время повышенной физической активности;

– долговременные изменения, происходящие ко времени окончания физической работы или имеющие отсроченный эффект, направленные на ускорение репаративных процессов в тканях организма.

Одними из основных неизученных вопросов остаются механизмы функциональных перестроек в работе пептидергической системы при нагрузках. Имеются сведения об увеличении экспрессии генов ряда регуляторных пептидов [6, 38], однако содержание мРНК не всегда отражает концентрацию активных форм пептидных молекул. Так как уровень нейропептидов и ростовых факторов зависит от активности ферментов, принимающих участие в их обмене, особый интерес представляет изучение активности пептидгидролаз,

участвующих в их синтезе, модификации и деградации. Исследования, проведенные в лаборатории Пензенского государственного университета, показали повышение активности ряда пептидгидролаз сыворотки крови при физической работе у исследуемой группы добровольцев, а также отличия в активности ферментов у спортсменов и неспортсменов в состоянии покоя, что свидетельствует об участии данных пептидгидролаз в регуляции уровня нейропептидов, ростовых факторов и гормональных белков при физической работе и адаптационных перестройках функционирования пептидергической системы [39]. Также было показано, что физическая работа вызывает увеличение активности карбоксипептидаз во всех отделах головного мозга и надпочечниках крыс, что может являться механизмом, обеспечивающим образование высоких концентраций нейропептидов и нейротрофических факторов, повышающих выживаемость нервных клеток и обладающих стресс-протективными свойствами – энкефалинов, β -эндорфина, ростовых и нейротрофических факторов [40].

Имеющиеся к настоящему времени данные позволяют сформулировать гипотезу цепной активации пептидергической системы при систематической физической работе. Механизм адаптационных перестроек при систематической физической работе заключается, по-видимому, в активации синтеза и секреции регуляторных пептидов, уровень которых в сыворотке крови спортсменов значительно превышает показатели здоровых добровольцев как в состоянии покоя, так и при физической работе. В данном контексте необходимо отметить тот факт, что многие нейропептиды влияют на интенсивность экспрессии генов, в том числе генов пептидгидролаз. Таким образом, изменение уровня нейропептидов при физической работе вследствие выброса биологически активных форм из секреторных гранул может приводить к изменению активности ферментов посредством влияния нейропептидов на уровень экспрессии мРНК пептидгидролаз.

Список литературы

1. **Solovev, V. B.** The peptidergic system of humans and animals at physical exercise / V. B. Solovev, M. T. Gengin. – Vienna, Austria : “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2016. – 196 p.
2. **Соловьев, В. Б.** Кислотно-основные показатели крови спортсменов различных квалификационных групп в норме и при физической работе / В. Б. Соловьев, М. Т. Генгин, В. М. Скуднов, О. П. Петрушова // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2010. – Т. 96, № 5. – С. 539–544.
3. **Allen, M.** Activity-generated endorphins: A review of their role in sports science / M. Allen // J. Appl. Sport Sci. – 1983. – № 8. – P. 115–133.
4. **Howlett, T. A.** Release of β -endorphin and met-enkephalin during exercise in normal women: response to training / T. A. Howlett, S. Tomlin, L. Ngahfoong // Medical J. – 1984. – Vol. 90, № 30. – P. 30–37.
5. **Rossier, J.** Foot-shock induced stress increases endorphin levels in blood but not in brain / J. Rossier, E. D. French, C. Rivier, N. Ling, R. Guillemin, F. Bloom // Nature. – 1977. – Vol. 270. – P. 618–20.
6. **Jonsdottir, I. H.** Special Feature for the Olympics: Effects of Exercise on the Immune System / I. H. Jonsdottir // Immunology and Cell Biology. – 2000. – Vol. 78. – P. 562–570.
7. **Metzger, J. M.** B-endorphin and sprint training / J. M. Metzger, E. A. Stein // Life Sci. – 1984. – Vol. 34. – P. 1541–1547.

8. **Hoffmann, P.** Cerebrospinal fluid immunoreactive β -endorphin concentration is increased by voluntary exercise in spontaneously hypertensive rat / P. Hoffmann, L. Terenius, P. Thorén // *Regul. Pept.* – 1990. – Vol. 28. – P. 233–239.
9. **Bruchas, M. R.** Repeated Swim-Stress Induces Kappa Opioid-Mediated Activation of ERK1/2 MAPK / M. R. Bruchas, M. Xu, C. Chavkin // *Neuroreport.* – 2008. – Vol. 19. – P. 1417–1422.
10. **Kanarek, R. B.** Running and addiction: precipitated withdrawal in a rat model of activity-based anorexia / R. B. Kanarek, K. E. D'Anci, N. Jurdak, W. F. Mathes // *Behav. Neurosci.* – 2009. – Vol. 123, № 4. – P. 905–912.
11. **Meh, M. L.** Equine plasma beta-endorphin concentrations are affected by exercise intensity and time of day / M. L. Meh, D. K. Sarkar, H. C. Schott, J. A. Brown, S. N. Sampson, W. M. Bayly // *Equine Vet. J. Suppl.* – 1999. – Vol. 30. – P. 567–569.
12. **Woie, L.** Increase in plasma vasoactive intestinal polypeptide (VIP) in muscular exercise in humans / L. Woie, B. Kaada, P. K. Opstad // *Gen. Pharmacol.* – 1996. – Vol. 17. – P. 323–326.
13. **Bucinskaite, V.** Effects of repeated sensory stimulation (electro-acupuncture) and physical exercise (running) on open-field behaviour and concentrations of neuropeptides in the hippocampus in WKY and SHR rats / V. Bucinskaite, E. Theodorsson, K. Crumpton, C. Stenfors, A. Ekblom, T. Lundeberg // *Eur. J. Neurosci.* – 1996. – Vol. 8. – P. 382–387.
14. **Wilson, L. B.** Substance P release in the spinal cord during the exercise pressor reflex in anaesthetized cats / L. B. Wilson, I. E. Fuchs, K. Matsukawa, J. H. Mitchell, P. T. Wall // *J. Physiol.* – 1993. – Vol. 460. – P. 79–90.
15. **Lind, H.** Different level of sensory neuropeptides (calcitonin gene related peptide and substance P) during and after exercise in man / H. Lind, L. Brudin, L. Lindholm, L. Edvinsson // *Clin. Physiol.* – 1996. – Vol. 16. – P. 73–82.
16. **Levenson, C. W.** Responses of rat adrenal neuropeptide Y and tyrosine hydroxylase mRNA to acute stress is enhanced by long term voluntary exercise / C. W. Levenson, J. B. Moore // *Neurosci. Lett.* – 1998. – Vol. 242. – P. 177–179.
17. **Jonhagen, A.** Calcitonin gene related peptide and neuropeptide Y in skeletal muscle after eccentric exercise: a microdialysis study / A. Jonhagen, P. Ackermann, T. Saartok, P. A. Renstrom // *J. Sports Med.* – 2006. – Vol. 40. – P. 264–267.
18. **Park, E.** Changes in basal hypothalamo-pituitary-adrenal activity during exercise training are centrally mediated / E. Park, O. Chan, Q. Li, M. Kiraly, S. G. Matthews, M. Vranic, M. C. Riddell // *J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2005. – Vol. 289. – P. 1360–1371.
19. **Duclos, M.** Corticotroph axis sensitivity after exercise in endurance-trained athletes / M. Duclos, J. B. Corcuff, L. Arsac, F. Moreau-Gaudry, M. Rashedi, P. Roger, A. Tabarin, G. Manier // *Clin. Endocrinol.* – 1998. – Vol. 48. – P. 493–501.
20. **Farrell, P. A.** Beta-endorphin and adrenocorticotropin response to supramaximal treadmill exercise in trained and untrained males / P. A. Farrell, M. Kjaer, F. W. Bach, H. Galbo // *Acta Physiol. Scand.* – 1987. – Vol. 130. – P. 619–625.
21. **De Meirleir, K.** Beta-endorphin and ACTH levels in peripheral blood during and after aerobic and anaerobic exercise / K. de Meirleir, N. Naaktgeboren, A. van Steirteghem, F. Gorus, J. Olbrecht, P. Block // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 1986. – Vol. 55. – P. 5–8.
22. **Watanabe, T.** Running training attenuates the ACTH responses in rats to swimming and cage-switch stress / T. Watanabe, A. Morimoto, Y. Sakata, N. Tan, K. Morimoto, N. Murakami // *J. Appl. Physiol.* – 1992. – Vol. 73. – P. 2452–2456.
23. **Sartorio, A.** GH responses to two consecutive bouts of whole body vibration, maximal voluntary contractions or vibration alternated with maximal voluntary contractions administered at 2-h intervals in healthy adults / A. Sartorio, C. L. Lafortuna, N. A. Maffiuletti, F. Agosti, N. Marazzi, F. Rastelli, A. E. Rigamonti, E. E. Muller // *Growth Horm. IGF Res.* – 2010. – Vol. 20, № 6. – P. 416–421.

24. **Arthur, W.** Effects of Continuous Versus Intermittent Exercise, Obesity, and Gender on Growth Hormone Secretion / W. Arthur, J. Y. Weltman, D. D. Winfield, K. Frick, J. Patrie, P. Kok, D. M. Keenan, G. A. Gaesser, J. D. Veldhuis // *Clin. Endocrinol Metab.* – 2008. – Vol. 93, № 12. – P. 4711–4720.
25. **Jurimae, J.** Leptin and GH response to short term exercise in college level male rowers / J. Jurimae, T. Jurimae // *J. Sports Med.* – 2005. – Vol. 39. – P. 6–9.
26. **Esbjörnsson, M.** Greater growth hormone and insulin response in women than in men during repeated bouts of sprint exercise / M. Esbjörnsson, B. Norman, S. Suchdev, M. Viru, A. Lindhgren, E. Jansson // *Acta Physiol.* – 2009. – Vol. 197, № 2. – P. 107–115.
27. **Michelini, L. C.** Endogenous vasopressin and the central control of heart rate during dynamic exercise / L. C. Michelini // *Brazilian J. of medical and biological research.* – 1998. – Vol. 9. – P. 1185–1195.
28. **Geysant, A.** Plasma vasopressin, renin activity, and aldosterone: effect of exercise and training / A. Geysant, G. Geelen, C. Denis, A. M. Allevard, M. Vincent, E. Jarsailon, C. A. Bizollon, J. R. Lacour, C. Gharib // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* – 2001. – Vol. 46, № 1. – P. 21–30.
29. **Braga, D.** Central oxytocin modulates exercise-induced tachycardia / D. Braga, E. Mori, K. T. Higa, M. Morris, L. C. Michelini // *Am. J. Physiol. Regul. Integr.* – 2000. – Vol. 278, № 6. – P. 1474–1482.
30. **Gutkowska, J.** Effect of exercise training on cardiac oxytocin and natriuretic peptide systems in ovariectomized rats / J. Gutkowska, A. Paquette, D. Wang, J. Lavoie, M. Jankowski // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2007. – Vol. 293. – P. 267–275.
31. **Kraemer, R. R.** Leptin and Exercise / R. R. Kraemer, H. Chu, V. D. Castracane // *Exp. Biol. Med.* – 2002. – Vol. 227. – P. 701–708.
32. **Goodwin, M. L.** Blood glucose regulation during prolonged, submaximal, continuous exercise: a guide for clinicians / M. L. Goodwin // *J. Diabetes. Sci. Technol.* – 2010. – Vol. 4, № 3. – P. 694–705.
33. **Lavoie, C.** Glucagon receptors: effect of exercise and fasting / C. Lavoie // *Can. J. Appl. Physiol.* – 2005. – Vol. 30, № 3. – P. 313–327.
34. **Charbonneau, A.** Evidence of hepatic glucagon resistance associated with hepatic steatosis: reversal effect of training / A. Charbonneau, K. Couturier, M. S. Gauthier, J. M. Lavoie // *Int. J. Sports Med.* – 2005. – Vol. 26, № 6. – P. 432–441.
35. **Holloszy, J. O.** Role of Exercise in Reducing the Risk of Diabetes and Obesity: Exercise-induced increase in muscle insulin sensitivity / J. O. Holloszy // *J. Appl. Physiol.* – 2005. – Vol. 99. – P. 338–343.
36. **Palstra, A. P.** Saving energy to fuel exercise: swimming suppresses oocyte development and downregulates ovarian transcriptomic response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* / A. P. Palstra, D. Crespo, G. E. van den Thillart, J. V. Planas // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2010. – Vol. 299, № 2. – P. 486–499.
37. **Efthimiadou, A.** Angiogenic effect of intramuscular administration of basic and acidic fibroblast growth factor on skeletal muscles and influence of exercise on muscle angiogenesis / A. Efthimiadou, B. Asimakopoulos, N. Nikolettos, A. Giatromanolaki, E. Sivridis, D. N. Papachristou, E. Kontoleon // *J. Sports Med.* – 2006. – Vol. 40, № 1. – P. 35–39.
38. **McKay, B. R.** Co-expression of IGF-1 family members with myogenic regulatory factors following acute damaging muscle-lengthening contractions in humans / B. R. McKay, C. E. O'Reilly, S. M. Phillips, M. A. Tarnopolsky, G. Parise // *J. Physiol.* – 2008. – Vol. 586. – P. 5549–5560.
39. **Соловьев, В. Б.** Влияние физической работы на уровень регуляторных пептидов и активность ферментов их обмена в сыворотке крови спортсменов различных квалификационных групп / В. Б. Соловьев, О. В. Соловьева, А. А. Столяров, В. М. Скуднов // *Actualscience.* – 2015. – Т. 1, № 2 (2). – С. 6–16.

40. Соловьев, В. Б. Активность основных карбоксипептидаз нервной системы крыс при физической работе и при введении семакса и селанка / В. Б. Соловьев, М. Т. Генгин, А. А. Столяров, О. В. Соловьева, М. М. Бегутов, О. Д. Любченко // Нейрохимия. – 2016. – Т. 33, № 1. – С. 70–75.

References

1. Solovev V. B., Gengin M. T. *The peptidergic system of humans and animals at physical exercise*. Vienna, Austria: “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2016, 196 p.
2. Solov'ev V. B., Gengin M. T., Skudnov V. M., Petrushova O. P. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I. M. Sechenova* [Russian physiological journal named after I. M. Sechenov]. 2010, vol. 96, no. 5, pp. 539–544.
3. Allen M. J. *Appl. Sport Sci.* 1983, no. 8, pp. 115–133.
4. Howlett T. A., Tomlin S., Ngahfoong L. *Medical J.* 1984, vol. 90, no. 30, pp. 30–37.
5. Rossier J., French E. D., Rivier C., Ling N., Guillemin R., Bloom F. *Nature*. 1977, vol. 270, pp. 618–20.
6. Jonsdottir I. H. *Immunology and Cell Biology*. 2000, vol. 78, pp. 562–570.
7. Metzger J. M., Stein E. A. *Life Sci.* 1984, vol. 34, pp. 1541–1547.
8. Hoffmann P., Terenius L., Thorén P. *Regul. Pept.* 1990, vol. 28, pp. 233–239.
9. Bruchas M. R., Xu M., Chavkin C. *Neuroreport*. 2008, vol. 19, pp. 1417–1422.
10. Kanarek R. B., D'Anci K. E., Jurdak N., Mathes W. F. *Behav. Neurosci.* 2009, vol. 123, no. 4, pp. 905–912.
11. Meh M. L., Sarkar D. K., Schott H. C., Brown J. A., Sampson S. N., Bayly W. M. *Equine Vet. J. Suppl.* 1999, vol. 30, pp. 567–569.
12. Woie L., Kaada B., Opstad P. K. *Gen. Pharmacol.* 1996, vol. 17, pp. 323–326.
13. Bucinskaite V., Theodorsson E., Crumpton K., Stenfors C., Ekblom A., Lundeberg T. *Eur. J. Neurosci.* 1996, vol. 8, pp. 382–387.
14. Wilson L. B., Fuchs I. E., Matsukawa K., Mitchell J. H., Wall P. T. *J. Physiol.* 1993, vol. 460, pp. 79–90.
15. Lind H., Brudin L., Lindholm L., Edvinsson L. *Clin. Physiol.* 1996, vol. 16, pp. 73–82.
16. Levenson C. W., Moore J. B. *Neurosci. Lett.* 1998, vol. 242, pp. 177–179.
17. Jonhagen A., Ackermann P., Saartok T., Renstrom P. A. *J. Sports Med.* 2006, vol. 40, pp. 264–267.
18. Park E., Chan O., Li Q., Kiraly M., Matthews S. G., Vranic M., Riddell M. C. *J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2005, vol. 289, pp. 1360–1371.
19. Duclos M., Corcuff J. B., Arzac L., Moreau-Gaudry F., Rashedi M., Roger P., Tabarin A., Manier G. *Clin. Endocrinol.* 1998, vol. 48, pp. 493–501.
20. Farrell P. A., Kjaer M., Bach F. W., Galbo H. *Acta Physiol. Scand.* 1987, vol. 130, pp. 619–625.
21. De Meirleir K., Naaktgeboren N., van Steirteghem A., Gorus F., Olbrecht J., Block P. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1986, vol. 55, pp. 5–8.
22. Watanabe T., Morimoto A., Sakata Y., Tan N., Morimoto K., Murakami N. *J. Appl. Physiol.* 1992, vol. 73, pp. 2452–2456.
23. Sartorio A., Lafortuna C. L., Maffiuletti N. A., Agosti F., Marazzi N., Rastelli F., Rigamonti A. E., Muller E. E. *Growth Horm. IGF Res.* 2010, vol. 20, no. 6, pp. 416–421.
24. Arthur W., Weltman J. Y., Winfield D. D., Frick K., Patrie J., Kok P., Keenan D. M., Gaesser G. A., Veldhuis J. D. *Clin. Endocrinol Metab.* 2008, vol. 93, no. 12, pp. 4711–4720.
25. Jurimae J., Jurimae T. *J. Sports Med.* 2005, vol. 39, pp. 6–9.
26. Esbjörnsson M., Norman B., Suchdev S., Viru M., Lindhgren A., Jansson E. *Acta Physiol.* 2009, vol. 197, no. 2, pp. 107–115.

27. Micheline L. C. *Brazilian J. of medical and biological research*. 1998, vol. 9, pp. 1185–1195.
28. Geyssant A., Geelen G., Denis C., Allevard A. M., Vincent M., Jarsaillon E., Bizolion C. A., Lacour J. R., Gharib C. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 2001, vol. 46, no. 1, pp. 21–30.
29. Braga D., Mori E., Higa K. T., Morris M., Micheline L. C. *Am. J. Physiol. Regul. Integr.* 2000, vol. 278, no. 6, pp. 1474–1482.
30. Gutkowska J., Paquette A., Wang D., Lavoie J., Jankowski M. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2007, vol. 293, pp. 267–275.
31. Kraemer R. R., Chu H., Castracane V. D. *Exp. Biol. Med.* 2002, vol. 227, pp. 701–708.
32. Goodwin M. L. *J. Diabetes. Sci. Technol.* 2010, vol. 4, no. 3, pp. 694–705.
33. Lavoie C. *Can. J. Appl. Physiol.* 2005, vol. 30, no. 3, pp. 313–327.
34. Charbonneau A., Couturier K., Gauthier M. S., Lavoie J. M. *Int. J. Sports Med.* 2005, vol. 26, no. 6, pp. 432–441.
35. Holloszy J. O. *J. Appl. Physiol.* 2005, vol. 99, pp. 338–343.
36. Palstra A. P., Crespo D., van den Thillart G. E., Planas J. V. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2010, vol. 299, no. 2, pp. 486–499.
37. Efthimiadou A., Asimakopoulos B., Nikolettos N., Giatromanolaki A., Sivridis E., Papachristou D. N., Kontoleon E. *J. Sports Med.* 2006, vol. 40, no. 1, pp. 35–39.
38. McKay B. R., O'Reilly C. E., Phillips S. M., Tarnopolsky M. A., Parise G. *J. Physiol.* 2008, vol. 586, pp. 5549–5560.
39. Solov'ev V. B., Solov'eva O. V., Stolyarov A. A., Skudnov V. M. *Actualscience*. 2015, vol. 1, no. 2 (2), pp. 6–16.
40. Solov'ev V. B., Gengin M. T., Stolyarov A. A., Solov'eva O. V., Begutov M. M., Lyubchenko O. D. *Neyrokhimiya* [Neurochemistry]. 2016, vol. 33, no. 1, pp. 70–75.

Соловьев Владимир Борисович

доктор биологических наук, профессор,
кафедра общей биологии и биохимии,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: bionauka@ya.ru

Solovev Vladimir Borisovich

Doctor of biological sciences, professor,
sub-department of general biology
and biochemistry, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Володин Роман Николаевич

преподаватель, кафедра физической
подготовки, Пензенский артиллерийский
инженерный институт (Россия, г. Пенза-5)

E-mail: volodika7@rambler.ru

Volodin Roman Nikolaevich

Lecturer, sub-department of physical
training, Penza Artillery Engineering
Institute (Penza-5, Russia)

Столяров Антон Анатольевич

заведующий лабораторией
радиоизотопной диагностики,
Пензенский областной онкологический
диспансер (Россия, г. Пенза,
пр. Строителей, 37А)

E-mail: anton-doc@mail.ru

Stolyarov Anton Anatolyevich

Head of the laboratory of radioisotope
diagnostics, Penza Regional Oncology
Center (37A Stroiteley avenue, Penza,
Russia)

УДК 577.156

Соловьев, В. Б.

Функционирование пептидергической системы при физической работе / В. Б. Соловьев, Р. Н. Володин, А. А. Столяров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 3 (15). – С. 25–37. DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-3

ИЕРАРХИЧНОСТЬ СЛОЖЕНИЯ ФЛОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО ТИПА ТЕРРИТОРИИ¹

Аннотация.

Актуальность и цели. Работа посвящена методическим аспектам определения флористического типа территории. Определение типа флоры по спискам видов административных единиц любого уровня не является точным. Предложен подход для выявления флористической структуры территории на уровне целых флор, в основе которого лежит определение флористического типа по третьему члену семейственного спектра.

Материалы и методы. В работе использовано 29 флористических описаний, содержащихся в базе данных (БД) FD SUR, сделанных на территории двух ландшафтных районов Самарского Заволжья.

Результаты. По составу ведущих семейств выявлены различия двух флор, описанных на территориях различных ландшафтных районов. Показано различие типов флор в пределах одной природно-климатической зоны.

Выводы. Изучение флористических списков административных единиц дает приблизительную картину границ флористических типов, выделяемых по третьему члену семейственного спектра. Флористический тип территории рекомендуется определять путем заложения серий описаний с последующим объединением списков. При этом флористический тип территории для Самарского Заволжья достоверно выделяется в интервале 600–900 видов.

Ключевые слова: семейственный спектр, тип флоры, флористические описания.

A. V. Ivanova

HIERARCHICAL COMPOSITION OF FLORAE AND DETERMINATION OF FLORISTIC TYPES OF TERRITORIES

Abstract.

Background. The article is devoted to methodological aspects of determination of floristic types of territories. Determination of a type of flora by species lists of administrative subjects of any type is not precise. The author suggests an approach to ascertain a floristic structure of a territory at the level of whole florae, based on determination of a floristic type by the third member of a family range.

Materials and methods. In the study there were used 29 floristic descriptions from the database FD SUR, recorded in the territory of two landscape areas of Samara region.

Results. By the composition of two major families there have been revealed changes of two florae, described in the territories of various landscape areas. The has

¹ Автор выражает благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований (грант РФФИ № 16_04_00747_a), а также Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразии природных систем. Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга» за частичную финансовую поддержку данной работы.

displayed the difference of two types of floras within a single climatic and natural zone.

Conclusions. Studies of floristic lists of administrative subjects give only an approximate picture of borders of floristic types, determined by the third member of a family range. Floristic types of territories are recommended to be determined by performing series of descriptions with further unification of lists. Herewith, a floristic type of territory for Samara region can be reliably determined in the interval of 600–900 species.

Key words: family range, type of flora, floristic descriptions.

Флора как живая система видов растений, обитающих на определенной территории, постоянно испытывает воздействие комплекса экологических факторов. Ее реакция выражается в изменении значений основных параметров флоры (состав семейственного и родового спектра, соотношение различных систематических групп, состав и характер биоморфологических, фитоценологических групп, географических элементов и др.). Тип флоры принято определять по третьему члену первой триады ведущих семейств спектра. При этом территории, в пределах которых выделяется тот или иной тип флоры, обозначены как «зоны» флоры [1]. Своеобразным итогом изучения совокупности флор территории могло бы стать картирование по флористическому типу.

Флору можно представить как иерархическую систему: какая-либо флора складывается из менее крупных флор (флора природной зоны, конкретная флора, парциальная флора). Ориентировочно иерархию сложения флор можно проследить, используя флористические данные административного деления (административных краев, областей), которые традиционно публикуются. Определенный на более крупной территории тип флоры может сохраняться на всех уровнях, а может меняться. Как правило, спектр флоры крупной территории показывает тип флоры, который проявляется здесь наиболее часто (доминирующий тип). Так, флора Российской Федерации демонстрирует принадлежность к *Fabaceae*-типу [2]. Флоры ряда административных областей также относятся к этому типу [3–5 и др.]. Несмотря на это, некоторые территории, находящиеся в пределах России, демонстрируют другие типы флоры. Например: *Rosaceae*-тип (флора Рязанской области [6]), *Cypereceae*-тип (флора Архангельской области [7]), *Chenopodiaceae*-тип (флора Астраханской области [8]) (табл. 1). Таким образом, изучая исключительно спектры административных территориальных единиц (например, область, край, республика), можно упустить из виду наличие вкраплений других типов флор, связанных с естественно-природными особенностями территорий (физико-географические провинции, районы), а также специфику локальных участков.

Например, территория Самарской области представлена физико-географическими районами, принадлежащими трем лесостепным и одной степной провинциям (рис. 1) [9]. Спектры флор данных физико-географических подразделений различаются между собой, а также со спектром Самарской области (табл. 2). Причем эти различия наблюдаются в третьем месте головной части спектра. Списки флор физико-географических провинций и районов в пределах Самарской области сформированы по данным отдельных флористических описаний, хранящихся в БД FD SUR [10].

Головные части семейственных спектров флор различных территорий

РФ	Рязанская область	Астраханская область	Архангельская область	Саратовская область
Asteraceae	Asteraceae	Asteraceae	Asteraceae	Asteraceae
Poaceae	Poaceae	Poaceae	Poaceae	Poaceae
Fabaceae	Rosaceae	Chenopodiaceae	Cyperaceae	Fabaceae
Rosaceae	Cyperaceae	Brassicaceae	Caryophyllaceae	Brassicaceae
Ranunculaceae	Fabaceae	Fabaceae	Fabaceae	Rosaceae
Brassicaceae	Brassicaceae	Cyperaceae	Brassicaceae	Chenopodiaceae
Cyperaceae	Caryophyllaceae	Boraginaceae	Rosaceae	Lamiaceae
Lamiaceae	Scrophulariaceae	Polygonaceae	Ranunculaceae	Ariaceae
Caryophyllaceae	Lamiaceae	Caryophyllaceae	Scrophulariaceae	Cyperaceae
Scrophulariaceae	Ranunculaceae	Lamiaceae	Lamiaceae	Scrophulariaceae



Рис. 1. Расположение географических подразделений в пределах Самарской области: физико-географические районы: 52 – Свяго-Усинский; 55 – Жигулевский; 64 – Мелекесско-Ставропольский; 69 – Сокский; 70 – Самаро-Кинельский; 71 – Чагринский; 72 – Сыртовый; 73 – Иргизский

Следует отметить, что показателями, отражающими полноту представленности флоры, являются число видов и размер обследованной территории. В данном случае каждое из физико-географических подразделений представлено числом видов, способным достаточно полно характеризовать флору лесостепной зоны. Обследованная площадь, измеряемая физико-географическим районом и более, также может представлять некую целостную природную единицу.

Важным вопросом является тот предел, ниже которого список видов не может представлять флору, так как является недостаточным. В этом случае определять тип флоры не правомерно. Семейственный спектр (или другие параметры) могут в этом случае характеризовать лишь флору отдельного фитоценоза или их неполных совокупностей для целой флоры.

Таблица 2

Головные части семейственных спектров флор различных физико-географических подразделений (в пределах Самарской области)

Самарская область	Степная провинция (Заволжье)	Лесостепная провинция Приволжской возвышенности	Лесостепная провинция Высокого Заволжья	Лесостепная провинция Низменного Заволжья	69. Сокский район	70. Самаро-Кинельский район	55. Жигулевский район
Число видов							
1967	1054	1133	1221	1091	1140	787	1306
Ast	Ast	Ast	Ast	Ast	Ast	Ast	Ast
Poa	Poa	Poa	Poa	Poa	Poa	Poa	Poa
Fab	Fab	Ros	Fab	Ros	Fab	Fab	Ros
Bras	Ros	Fab	Ros	Bras	Ros	Ros	Bras
Ros	Bras	Bras	Bras	Fab	Bras	Bras	Fab
Сyp	Chen	Car	Сyp	Car	Car	Car	Сyp
Scr	Car	Scr	Car	Сyp	Сyp	Lam	Car
Lam	Scr	Lam	Scr	Lam	Lam	Scr	Scr
Car	Lam	Сyp	Lam	Chen	Scr	Сyp	Lam
Chen	Сyp	Api	Api	Scr	Api	Chen	Ran

Примечание. Api – Apiaceae, Ast – Asteraceae, Bras – Brassicaceae, Car – Caryophyllaceae, Chen – Chenopodiaceae, Сyp – Cyperaceae, Fab – Fabaceae, Lam – Lamiaceae, Poa – Poaceae, Ran – Ranunculaceae, Ros – Rosaceae, Scr – Scrophulariaceae.

Минимальным флористическим выделом, который было бы желательно использовать при характеристике флоры какой-либо территории, а также при флористическом районировании, является конкретная флора в понимании А. И. Толмачева [11, 12]. Определение данной структуры на местности – процесс весьма трудоемкий, связанный с обследованием территории достаточно большой площади.

Ориентировочно для определения границ конкретных флор желательно пользоваться ландшафтным районированием (если таковое имеется), так как существует гипотеза о соответствии конкретной флоры флоре ландшафта [13]. Флора ландшафта при условии изучения видового состава всех экотопов действительно должна давать полное представление о конкретной флоре. Однако одна и та же местность может быть представлена не одним типом районирования, а более, не совпадающими между собой. Или же районирование может отсутствовать вовсе.

Безусловно, для исследования флоры необходим метод, опирающийся в основном на данные о распространении видов и учитывающий природные условия территории. В процессе исследования флоры с охватом типичных экотопов происходит наращивание общего списка видов, ее характеризующего [14]. С определенного числа видов этот список становится флорой. Очевидно, это значение характеризует ареал-минимум конкретной флоры (КФ). В разных природных зонах оно будет различаться. Совокупность видов,

менее данной величины, не способна представить целую флору. Однако и число видов, большее необходимого, чем имеет место быть в конкретной флоре (ареал-максимум) территории в данных экологических условиях, может исказить истинный тип флоры. В этом случае мы будем иметь дело со «смешанной» флорой.

На примере территории Самарской области мы как раз имеем дело со «смешанной» флорой, так как наряду с доминирующим здесь *Fabaceae*-типом флоры среди представленных географических подразделений встречается *Rosaceae*-тип. Физико-географическое районирование, произведенное под руководством Ступишина [9], не является единственным. Ландшафтное разнообразие Заволжской части Самарской области описано в составе Урало-Каспийского региона [15]. Эти два упомянутых районирования, безусловно, различаются.

При определении флористического типа территории наиболее надежным методом может считаться формирование списка видов путем сложения флористических описаний отдельных фитоценологических комплексов и их фрагментов, содержащих различное число видов. Одним из критериев достаточности выборки может служить формирование (стабилизация) тройки ведущих семейств. При увеличении площади обследования, а следовательно, и увеличении числа видов тройка ведущих семейств не меняется, если флора демонстрирует тип, доминирующий на данной территории.

Рассмотрим формирование тройки ведущих семейств в зависимости от числа видов в выборке для одного из фрагментов территории Сокского бассейна, относящегося к среднему течению реки, обозначенному на карте как N (рис. 2). Общий список флоры для данной территории сформирован последовательным объединением списков отдельных флористических описаний из имеющейся БД FD SUR [10], изображенных на рисунке точками. Изменение порядка тройки ведущих семейств в результате увеличения числа видов в выборке показано на рисунке (рис. 3).

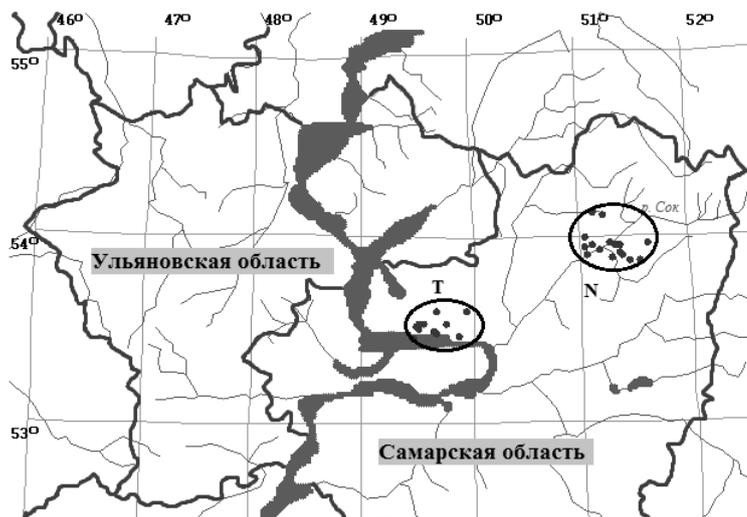


Рис. 2. Расположение рассматриваемых участков на территории лесостепной зоны Самарского Заволжья

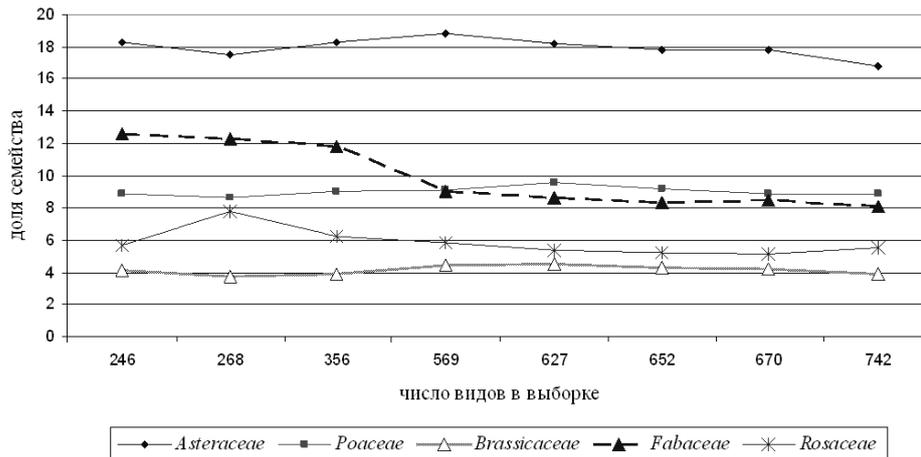


Рис. 3. Изменение порядка некоторых ведущих семейств с увеличением числа видов в выборке для флоры участка территории, обозначенного на рис. 2 как N

Данный участок изученной территории демонстрирует принадлежность к флоре *Fabaceae*-типа (доминирующего типа), и число 600 видов оказывается достаточным для его идентификации. Дальнейшее наращивание числа видов в пределах территории Сокского бассейна не приводит к смене типа флоры.

При рассмотрении в том же ракурсе участка, расположенного в лесостепной провинции Низменного Заволжья (участок Т, см. рис. 2), наблюдается иная картина (рис. 4). Несмотря на принадлежность флоры к лесостепной зоне, *Fabaceae*-тип здесь не проявляется. На третье место выходит семейство *Brassicaceae*, и сохраняется до 900 видов в выборке. При дальнейшем наращивании числа видов проявляется *Rosaceae*-тип флоры, характерный для Мелекесско-Ставропольского района (см. рис. 1, № 64). Именно флорой этого района (в пределах Самарской области) представлена провинция Низменного Заволжья (см. табл. 2). По сравнению с Сокским районом (см. рис. 1, № 69), число видов семейства *Fabaceae* резко снижается, а число видов семейства *Brassicaceae* немного увеличивается. Вклад же семейства *Rosaceae* существенно не изменяется.

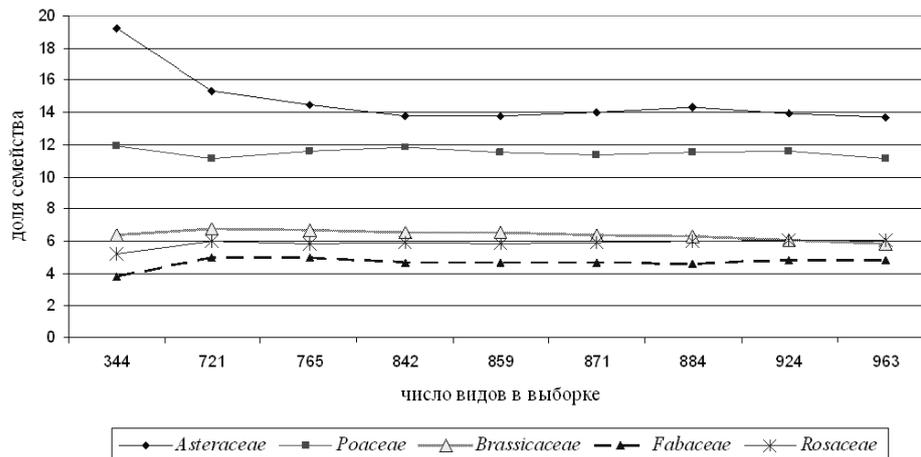


Рис. 4. Изменение порядка некоторых ведущих семейств с увеличением числа видов в выборке для флоры участка территории, обозначенного на рис. 2 как Т

Выявленные различия флор по семейственному спектру демонстрируют, что рассмотренные участки территории N и T принадлежат к разным КФ, несмотря на территориальную близость и расположение в пределах одной природно-климатической зоны. Различия рассмотренных флор отражают разнообразие комплекса природных факторов, а также возможно и различия в реакции территории на антропогенное воздействие.

Заключение. С целью выявления на исследуемой территории природной мозаики сложения флор необходимо закладывать серии флористических описаний. Для выявления степени разнообразия целых флор необходимо описания отдельной серии располагать более компактно, а сами же серии – на некотором отдалении друг от друга. Формирование общего списка флоры следует производить объединением отдельных флористических описаний, что позволяет установить преобладающий тип флоры территории по третьему члену семейственного спектра. Необходимое при этом число видов в выборке для Самарского Заволжья лесостепной зоны характеризуется величиной 600–900.

Список литературы

1. **Хохряков, А. П.** Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике / А. П. Хохряков // Ботанический журнал. – 2000. – Т. 85, № 5. – С. 1–11.
2. **Гельтман, Д. В.** Состав флоры сосудистых растений Российской Федерации / Д. В. Гельтман, Н. Н. Антонова, В. В. Бялт, А. Е. Грабовская, В. И. Дорофеев, Л. А. Золкина, Г. Ю. Конечная, Л. С. Красовская, Л. И. Крупкина, И. Г. Левичев, Н. А. Медведева, Н. Н. Портениер, И. В. Соколова // Известия РАН. Серия биологическая. – 1998. – № 1. – С. 93–97.
3. **Еленевский, А. Г.** Конспект флоры Саратовской области / А. Г. Еленевский, Ю. И. Буланый, В. И. Радыгина. – Саратов, 2008. – 232 с.
4. **Саксонов, С. В.** Путеводитель по Самарской флоре (1851–2011). Флоры Волжского бассейна / С. В. Саксонов, С. А. Сенатор. – Тольятти, 2012. – Т. 1. – 512 с.
5. **Раков, Н. С.** Сосудистые растения Ульяновской области. Флора Волжского бассейна / Н. С. Раков, С. В. Саксонов, С. А. Сенатор, В. М. Васюков. – Тольятти, 2014. – Т. II. – 295 с.
6. **Казакова, М. В.** Флора Рязанской области / М. В. Казакова. – Рязань, 2004. – 388 с.
7. **Шмидт, В. М.** Флора Архангельской области / В. М. Шмидт. – СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 2005. – 346 с.
8. **Лактионов, А. П.** Флора Астраханской области : моногр. / А. П. Лактионов. – Астрахань : Астраханский университет, 2009. – 296 с.
9. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / под ред. А. В. Ступишина. – Казань : Изд-во Казанского ун-та, 1964. – 173 с.
10. **Костина, М. А.** База данных «Флористические описания локальных участков Самарской и Ульяновской областей» (FD SUR): информационная основа, структура данных, алгоритмы обработки и результаты использования / М. А. Костина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2015. – Т. 24, № 2. – С. 161–172.
11. **Толмачёв, А. И.** Богатство флор как объект сравнительного изучения / А. И. Толмачёв // Вестник ЛГУ. – 1970. – № 9. – С. 71–83.
12. **Толмачёв, А. И.** Введение в географию растений / А. И. Толмачёв. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 244 с.
13. **Лукичева, А. Н.** Конкретная флора и флора ландшафта / А. Н. Лукичева, Д. Н. Сабуров // Ботанический журнал. – 1969. – № 12. – С. 1911–1920.

14. **Юрцев, Б. А.** Элементарные естественные флоры и опорные единицы сравнительной флористики / Б. А. Юрцев // Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики : материалы II рабочего совещания по сравнительной флористике. – Л. : Наука, 1987. – С. 47–66.
15. **Чибилев, А. А.** Ландшафты Урало-Каспийского региона / А. А. Чибилев, П. В. Дебело. – Оренбург : Институт степи УрО РАН : Димур, 2006. – 264 с.

References

1. Khokhryakov A. P. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal]. 2000, vol. 85, no. 5, pp. 1–11.
2. Gell'tman D. V., Antonova N. N., Byalt V. V., Grabovskaya A. E., Dorofeev V. I., Zol'kina L. A., Konechnaya G. Yu., Krasovskaya L. S., Krupkina L. I., Levichev I. G., Medvedeva N. A., Portenier N. N., Sokolova I. V. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya* [Proceedings of RAS. Seires: biology]. 1998, no. 1, pp. 93–97.
3. Elenevskiy A. G., Bulanyu Yu. I., Radygina V. I. *Konspekt flory Saratovskoy oblasti* [Summary of Saratov regional flora]. Saratov, 2008, 232 p.
4. Saksonov S. V., Senator S. A. *Putevoditel' po Samarskoy flore (1851–2011). Flory Volzhskogo basseyna* [Samara flora guide (1851–2011). Flora of the Volga basin]. Tolyatti, 2012, vol. 1, 512 p.
5. Rakov N. S., Saksonov S. V., Senator S. A., Vasyukov V. M. *Sosudistye rasteniya Ulyanovskoy oblasti. Flora Volzhskogo basseyna* [Vascular plants of Ulyanovsk region. Flora of the Volga basin]. Tolyatti, 2014, vol. II, 295 p.
6. Kazakova M. V. *Flora Ryazanskoy oblasti* [Ryazan regional flora]. Ryazan, 2004, 388 p.
7. Shmidt V. M. *Flora Arkhangel'skoy oblasti* [Arkhangelsk regional flora]. Saint-Petersburg: Izd-vo SPb. un-ta, 2005, 346 p.
8. Laktionov A. P. *Flora Astrakhanskoy oblasti: monogr.* [Astrakhan regional flora: monograph]. Astrakhan: Astrakhanskiy universitet, 2009, 296 p.
9. *Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Srednego Povolzh'ya* [Physical and geographical zoning of Middle Volga region]. Ed. by A. V. Stupishin. Kazan: Izd-vo Kazanskogo un-ta, 1964, 173 p.
10. Kostina M. A. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii* [Samarskaya luka: problems of regional and global ecology]. 2015, vol. 24, no. 2, pp. 161–172.
11. Tolmachev A. I. *Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Leningrad State University]. 1970, no. 9, pp. 71–83.
12. Tolmachev A. I. *Vvedenie v geografiyu rasteniy* [Introduction into plant geography]. Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta, 1974, 244 p.
13. Lukicheva A. N., Saburov D. N. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal]. 1969, no. 12, pp. 1911–1920.
14. Yurtsev B. A. *Teoreticheskie i metodicheskie problemy sravnitel'noy floristiki: materialy II rabocheho soveshchaniya po sravnitel'noy floristike* [Theoretical and methodological problems of comparative floristics: proceedings of II Working conference on comparative floristics]. Leningrad: Nauka, 1987, pp. 47–66.
15. Chibilev A. A., Debelo P. V. *Landshafty Uralo-Kaspiyskogo regiona* [Landscapes of Ural-Caspian region]. Orenburg: Institut stepi UrO RAN: Dimur, 2006, 264 p.

Иванова Анастасия Викторовна

кандидат биологических наук, Институт экологии Волжского бассейна РАН (Россия, г. Тольятти, ул. Комзина, 10)

E-mail: nastia621@yandex.ru

Ivanova Anastasia Viktorovna

Candidate of biological sciences, Institute of Ecology of the Volga River Basin of RAS (10 Komzina street, Togliatti, Russia)

УДК 581.9

Иванова, А. В.

Иерархичность сложения флор и определение флористического типа территории / А. В. Иванова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 3 (15). – С. 38–46. DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-4

СОВРЕМЕННОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ И БИОТОПИЧЕСКИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ КРАПЧАТОГО СУСЛИКА (*SPERMOPHILUS SUSLICUS* GÜLD.) В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ¹

Аннотация.

Актуальность и цели. На территории Среднего Поволжья отмечается депрессия численности крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus* Güld.). Причинами ее является не только прямое истребление, снижение генетического разнообразия и репродуктивного потенциала сохранившихся поселений, но и усиливающаяся фрагментация среды. Целью исследования было определение современного распространения крапчатого суслика в восточной части ареала, оценка масштабов сокращения численности, а также выявление биотопических предпочтений вида в современных условиях.

Материалы и методы. Материалом для работы послужили результаты полевых исследований, проведенных в 2014–2016 гг. в Ульяновской области. Изучение распространения и состояния популяций *S. suslicus* проводили методом маршрутного учета с автомобиля. Общая протяженность маршрутов составила около 8000 км. Всего было обследовано 105 местообитаний и обнаружено 26 локальных поселений крапчатых сусликов.

Результаты. В результате обследования 60 пригодных для обитания сусликов биотопов на территории Ульяновской области было выявлено 26 поселений крапчатого суслика в 9 районах Ульяновской области. Средняя плотность особей в учтенных колониях составила 4,4 ос./га, общая площадь поселений составила 1141,7 га (11,42 км²), а численность была оценена в 4850 особей. В целом 70,2 % населения популяций крапчатого суслика в Ульяновской области связано с естественными биотопами.

Выводы. Современная ситуация распространения крапчатого суслика близка к критической, популяции этого вида находятся в депрессивном состоянии и нуждаются в охране. Выявленная фрагментированная структура ареала *Spermophilus suslicus* формируется в зависимости от имеющихся в регионе преград как естественной, так и антропогенной природы.

Ключевые слова: крапчатый суслик, современное распространение, экологические причины динамики ареала, биотопическая приуроченность, депрессия численности.

S. S. Zaks, A. A. Kuzmin, S. V. Titov

ACTUAL DISTRIBUTION AND BIOTOPIC PREFERENCES OF THE SPECKLED GROUND SQUIRREL (*SPERMOPHILUS SUSLICUS* GÜLD.) IN MIDDLE VOLGA REGION

Abstract.

Background. In the territory of middle Volga region there is registered a depression of the speckled ground squirrel (*Spermophilus suslicus* Güld.). It is caused not

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-60059 мол_а_дк и проекта № 14-04-00301 а (исследования в 2014–2015 гг.).

only by direct extermination, the decreasing genetic diversity and reproductive potential in extant colonies, but also by an increasing environment's fragmentation. The goal of the study is to determine the actual distribution of the speckled ground squirrel in the eastern part of its area, to estimate the scales of the decreasing number and to reveal the species' biotopic preferences in actual conditions.

Materials and methods. The research materials included the results of field studies in 2014–2016 in Ulyanovsk region. The study of distribution and population conditions of *Spermophilus suslicus* were conducted by the car route registration method. The route's total length was about 8000 km. 105 habitats were investigated and 26 local colonies of the speckled ground squirrel were found.

Results. As a result of the survey of 60 habitats suitable for ground squirrels in the territory of Ulyanovsk region, there have been revealed 26 colonies of the speckled ground squirrel in 9 districts of Ulyanovsk region. The average density of individuals in the studied colonies was 4,4 individuals per ha, the total area of colonies was 1141,7 ha (11,42 km²), the total number was 4850 individuals. About 70,2 % of the speckled ground squirrel populations in Ulyanovsk region were situated in native habitats.

Conclusions. The actual distribution of the speckled ground squirrel is close to critical. Populations are depressed and need protection. The fragmented structure of the natural habitat of *Spermophilus suslicus* is formed due to natural and anthropogenic barriers.

Key words: speckled ground squirrel, actual distribution, ecological reasons of habitat's dynamics, biotopic confinement, depression of numbers.

На протяжении всего прошлого столетия суслики неоправданно, по сравнению с другими грызунами, считались основными вредителями сельского хозяйства. В результате проведения активных истребительных мероприятий начиная с 80-х гг. прошлого века отмечается устойчивое падение численности и уменьшение числа поселений крапчатого суслика в восточной части ареала (Поволжье) [1]. По результатам исследований, проведенных в 2008–2009 гг., было обнаружено только 28 поселений. При этом плотность поселений нигде не превышала 5 ос./га [2]. Можно предположить, что причинами такой депрессии является не только прямое истребление, но и вызванное резким падением численности снижение генетического разнообразия и репродуктивного потенциала сохранившихся поселений, а также усиливающаяся фрагментация среды вследствие нарастающего по масштабам освоения естественных биотопов человеком.

Крапчатый суслик (*Spermophilus suslicus* Güld.) является типичным обитателем целинных участков степных ландшафтов Среднего Поволжья и, вследствие этого, даже в районах с развитым сельскохозяйственным производством тяготеет к станциям, имеющим хотя бы отдаленное сходство со степью [3]. В зависимости от ландшафтных особенностей мест обитания этот суслик образует компактные плотные колонии, ленточные поселения или скопление одиночных зверьков [3–5]. Подвижность и воспроизводство вида в естественных местообитаниях характеризуются как низкие, поэтому поселения с относительно стабильной численностью существуют на одном месте довольно длительное время, а число детенышей в выводке обычно не превышает шесть [6–8]. Крапчатый суслик занесен в Красные книги большинства территориально-административных субъектов Поволжского региона (Улья-

новская (III категория), Саратовская, (II категория) и Пензенская (III категория) области и республики Татарстан (III категория) и Чувашия (III категория)) [9–13] и в Красную книгу Международного Союза охраны природы («IUCN Red List of Threatened Animals», ver. 3.1, 2001) со статусом «NT» – «как вид близкий к угрозе исчезновения» (<http://www.iucnredlist.org/details/20492/0>).

Целью исследования было определение современного распространения крапчатого суслика в восточной части ареала (Ульяновская область), оценка масштабов сокращения численности, а также выявление биотопических предпочтений в современных условиях антропогенной фрагментации среды.

Материалы и методы

Материалом для работы послужили результаты полевых исследований, проведенных в 2014–2016 гг. в Ульяновской области. Изучение распространения и состояния популяций проводили методом маршрутного учета. Общая протяженность маршрутов составила около 8000 км. Всего было обследовано 105 потенциальных местообитаний и выявлено 26 поселений крапчатых сусликов. Кроме регистрации самих точек обнаружения поселений грызуна в некоторых из них проводили отлов животных, сбор проб для генетических исследований, а также описание биотопических условий местообитаний. Отлов животных осуществляли неинвазивными методами при помощи донских ловушек (живоловок). Отловленных особей паспорттизировали: проводили фото- и видеосъемку особи, замер морфометрических показателей (масса и длина тела, длина хвоста и плюсны), а также индивидуальное мечение. Всего за время проведения полевых исследований было отловлено, помечено и паспорттизировано 56 особей *S. suslicus*.

Результаты и обсуждение

Крапчатый суслик, являясь мелким евразийским видом сусликов, отличается низкой экологической пластичностью и миграционной активностью. В биотопических предпочтениях он тяготеет к ксерофитным стациям обитания (суходолы, остепненные склоны, высокостебельные злаковники, кроме ковыльников, сухие луговины верхних речных террас) [1, 3, 4]. Прежние исследования распространения крапчатого суслика в правобережных районах Поволжья показали, что этот вид встречается в основном на территории Ульяновской области. Ареал сильно фрагментирован, а большинство популяций грызуна имеют депрессивное состояние [1].

В результате обследования 60 пригодных для обитания сусликов биотопов на территории Ульяновской области было выявлено 26 поселений крапчатого суслика в 9 районах Ульяновской области (рис. 1, табл.). В трех районах области (Николаевском, Сурском, Цильнинском) было обнаружено только по одному поселению. В остальных 6 районах количество обнаруженных поселений варьировалось от двух до шести. Средняя плотность особей в учтенных колониях составила 4,4 ос./га, общая площадь поселений составила 1141,7 га (11,42 км²), а численность была оценена в 4850 особей.

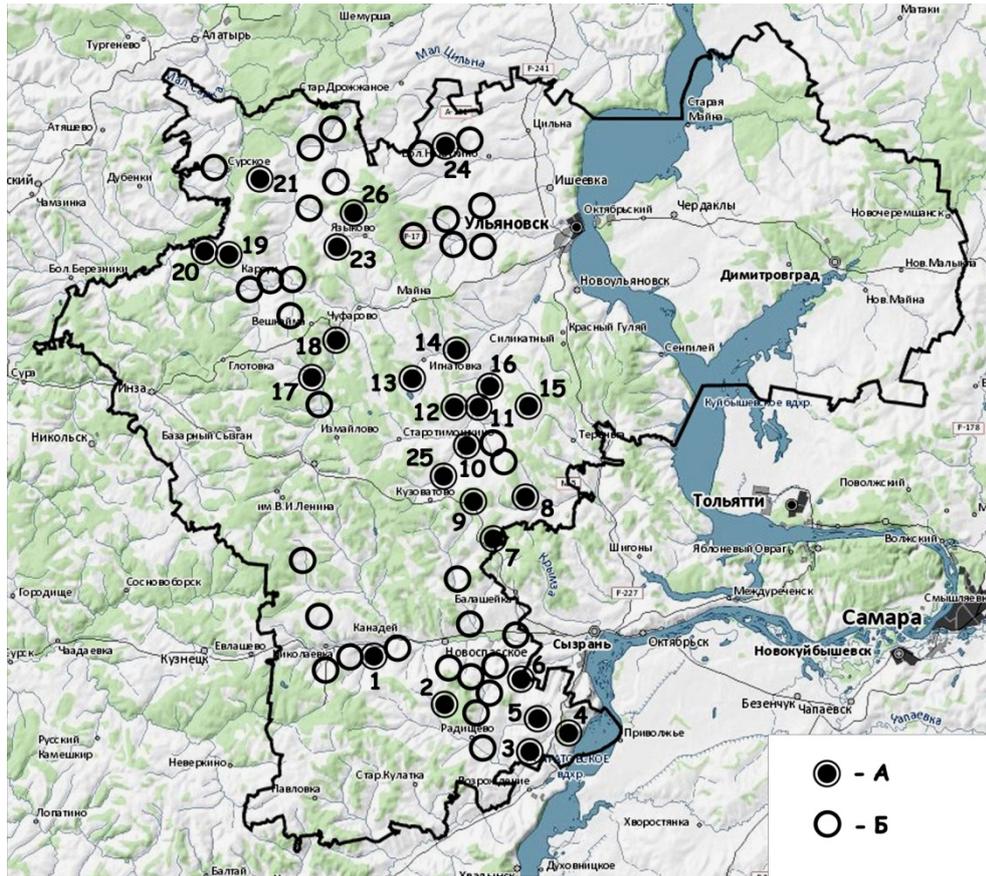


Рис. 1. Распространение крапчатого сулика на территории Ульяновской области (2014–2016 гг.): А – обнаруженные поселения; Б – обследованные биотопы

Таблица
Поселения крапчатого сулика в Ульяновской области (2014–2016 гг.)

Кадастровый номер	Адрес	Координаты, долгота/широта	Оценочная плотность, ос./га	Площадь, га	Оценка численности, ос.	Характеристика биотопа*
1	2	3	4	5	6	7
Николаевский район (n = 1)						
1.	Окрестности с. Куроедово	53°06'12,04" 47°27'08,29"	3	93,6	281	ПЛ, ВиП, ОСКЛ
Радищевский район (n = 5)						
2.	Окрестности с. Соловчиха	52°58'01,86" 47°47'37,32"	5	56	280	ОПУ, ВиП, ОСКЛ
3.	Окрестности с. Мордовская Курагужа	52°48'34,89" 48°09'55,07"	2	89,6	179	ВиП, СБС

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7
4.	Окрестности с. Вязовка	52°53'51,31" 48°21'41,25"	3	122	366	ЗП, ОПУ
5.	Окрестности пос. Шевченко	52°53'21,96" 48°10'39,10"	10	88,8	888	СХД, МОСКЛ
6.	Окрестности с. Журавлиха	53°00'07,38" 47°10'07,23"	5	6,3	32	ПЛ, ОСКЛ
Кузоватовский район (n = 6)						
7.	Окрестности с. Студенец	53°25'13,69" 47°58'44,97"	1	14,6	15	ПЛ, СХД
9.	А/дор. Безводовка–Привольное	53°32'06,55" 47°54'06,10"	0,6	10	6	ППиО
10.	Окрестности с. Бестужевка	53°43'40,05" 47°45'13,63"	2	25,7	51	ПЛ, ВиП
11.	Окрестности с. Смышляевка	53°44'46,73" 47°45'10,93"	2	15,5	31	СЗиН, ВиП
12.	Окрестности с. Смышляевка	53°45'43,68" 47°42'22,07"	15	22,8	342	ОПУ, ВиП
16.	Окрестности с. Порецкое	53°49'21,21" 47°53'09,14"	1,5	13,2	20	ОПУ
25.	Окрестности с. Трубетчина	53°38'44,79" 47°52'03,44"	10	57	570	ВиП
Теренгульский район (n = 2)						
8.	Ур. Сарым	53°36'13,00" 48°18'49,96"	5	19	95	ОСКЛ, КП
15.	Окрестности пос. Красноборск	53°44'56,33" 48°01'33,76"	10	70	700	СХД, ВиП
Майнский район (n = 2)						
17.	Окрестности с. Каргино	53°54'42,53" 47°08'20,96"	1	151,9	152	МОСКЛ, ОПУ
18.	Окрестности ст. Вешкайма	54°02'34,49" 47°11'45,29"	1	53,3	53	МОСКЛ, СХД
Карсунский район (n = 4)						
19.	Окрестности с. Русские Горенки	54°15'05,11" 46°44'15,51"	10	89,7	897	МОСКЛ, СХД
20.	Окрестности с. Беловодье	54°15'13,61" 46°38'51,53"	8	33,9	271	МОСКЛ, СЗиН
23.	Окрестности с. Урено-Карлинское	54°15'54,82" 47°15'32,17"	4	21	84	МОСКЛ, СХД
26.	Окрестности с. Белозерье	54°15'54,82" 47°15'32,17"	10	82,1	821	МОСКЛ, СХД
Сурский район (n = 1)						
21.	Окрестности пос. Элита	54°27'34,42" 46°50'38,20"	0,5	131	66	СБС, ВиП
Цильнинский район (n = 1)						
24.	Окрестности с. Средние Тимеряны	54°32'38,88" 47°48'30,72"	3	13,8	41	СБС, ВиП

Примечание. *Принятые обозначения:

ОПУ – остепненные плакорные участки;
ОСКЛ – остепненные склоны;
ЗП – невозделываемые сельскохозяйственные угодья;
ППиО – придорожные полосы и обочины дорог;
ПЛ – пойменная луговина;
МОСКЛ – меловые остепненные склоны;
СБС – степные балочные системы;
СЗиН – степные залежи и неудобья;
ВиП – выгоны и пастбища;
СХД – суходолы и суходольные степные балки;
КП – культивируемые сельскохозяйственные угодья.

Максимальная плотность крапчатых сусликов в поселениях была зафиксирована в Теренгульском и Карсунском районах – 8,9 и 9,1 ос./га соответственно. Минимальная плотность грызуна в колониях была зафиксирована в Сурском и Майнском районах – 0,5 и 1 ос./га соответственно. Наибольшая площадь поселений была выявлена в Радищевском и Карсунском районах – 362,7 и 226,7 га, наименьшая – в Цильнинском и Теренгульском – 13,8 и 89 га соответственно. Максимальное число зверьков было выявлено в Карсунском (2073 особи) и Радищевском (1745 особей) районах, минимальное – в Сурском, Цильнинском и Майнском районах – 66, 41 и 205 особей соответственно.

Поселения крапчатого суслика в большей степени приурочены к сухим биотопам (57 %) и биотопам естественной природы (67 %), что соответствует видовым биотопическим предпочтениям. Особых предпочтений к степным участкам, расположенным на склонах, или участкам с относительно ровным рельефом (плакорам) отмечено не было – 24 и 31 % соответственно. Только в 5 % случаев поселения этого вида были обнаружены в сильно фрагментированных биотопах (степные балочные системы и придорожные полосы, обочины дорог). Таким образом, более 70 % населений крапчатого суслика на территории Ульяновской области связаны с естественными биотопами.

При анализе кружева ареала крапчатого суслика отмечается сильная фрагментации исследованной области его обитания, которая в зависимости от экологических предпочтений и способности к расселению этого вида имеет специфические особенности и само возникновение которой объясняется рядом объективных причин. В результате активной хозяйственной деятельности человека в начале XX в., повлекшей сильную трансформацию степных ландшафтов, связанную с полной распашкой целинных земель, большинство реликтовых поселений этих грызунов было уничтожено. Сохранились лишь такие поселения вида, которые были приурочены к неудобьям, балочным системам и возвышенностям различного масштаба, как правило, неиспользуемым в сельском хозяйстве. Такими «резерватам» для крапчатого суслика в Ульяновской области были, например, водораздельное плато рек Терешки и Сызранки, а также рек Барыша и Суры. Кроме этого, другой не менее значимой причиной, ведущей к фрагментации области обитания крапчатого суслика, являются непреодолимые преграды к его расселению – крупные лесные массивы и реки с пойменными участками.

Так, область обитания крапчатого суслика в Ульяновской области распадается на пять метапопуляций (рис. 2). Основными факторами такой фраг-

ментации ареала является не только уже упоминавшиеся наличие или отсутствие непреодолимых преград – лесных массивов, крупных рек и широких пойменных участков, но и расположение сухостепных разнотравных биотопов на водораздельных участках ландшафта как станций переживания в период депрессии численности или точек расселения этого вида в период ее подъема. В этом проявляется одна из характерных особенностей биотопических предпочтений крапчатого суслика – приуроченность к возвышенным участкам разнотравно-злаковых сухих степей. Такие же ландшафтные особенности распространения были отмечены и для другого представителя земляных белок – степного сурка (*Marmota bobak* Müll.) [14, 15].

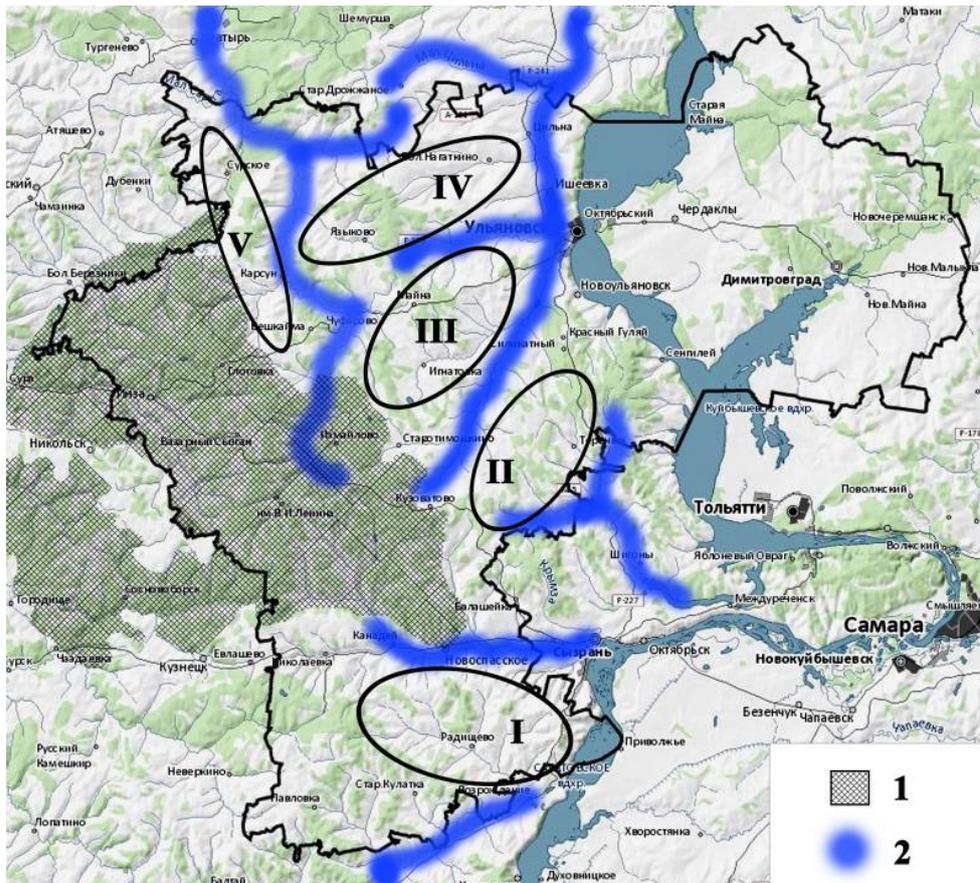


Рис. 2. Физико-географические особенности территории Ульяновской области, связанные с распространением крапчатого суслика: 1 – лесные массивы; 2 – крупные реки и их поймы; I – Южная (Сызранская) метапопуляция; II – Восточная (Приволжская) метапопуляция; III – Центральная метапопуляция; IV – Северная метапопуляция; V – Северо-Западная (Присурская) метапопуляция

Сравнение сведений по распространению крапчатого суслика в регионе исследования [1, 2] с вновь полученными данными свидетельствует о значительном снижении числа поселений и общем падении численности. Число современных поселений крапчатого суслика в Ульяновской области снизилось почти в 2,5 раза по сравнению с данными 2001 г. Учитывая то, что уже

в 2001 г. показатели обилия крапчатого суслика признавались низкими по сравнению с численностью этого грызуна в начале XX в., следует признать, что современная ситуация близка к критической, популяции крапчатого суслика находятся в тяжелом депрессивном состоянии и нуждаются в охране.

Выводы

Таким образом, фрагментированная (метапопуляционная, требующая генетических доказательств) структура ареала крапчатого суслика формируется в зависимости от имеющихся в регионе преград для широкого его распространения как естественной (формы макро- и микрорельефа, реки, лесные массивы), так и антропогенной (распашка целинных степных участков, истребление) природы. Наблюдающаяся в последние годы депрессия численности и исчезновение большинства локальных поселений *S. suslicus* объясняет необходимость осуществления охраны сохранившихся еще колоний этого вида сусликов как на территории Ульяновской области, так и сопредельных регионов.

Список литературы

1. **Титов, С. В.** Современное распространение и изменение численности крапчатого суслика в восточной части ареала / С. В. Титов // Зоологический журнал. – 2001. – Т. 80, № 2. – С. 230–235.
2. **Титов, С. В.** Современное состояние популяций крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus* Güld., 1770) в восточной части ареала: популяционные и молекулярно-генетические данные / С. В. Титов, С. С. Бакаева // Материалы конф. «Современные проблемы зоо- и филогеографии млекопитающих» (г. Пенза, 15–20 мая 2009 г.). – М. : ТНИ КМК, 2009. – С. 99.
3. **Громов, И. М.** Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий (зайцеобразные, грызуны) / И. М. Громов, М. А. Ербаева. – СПб. : Наука, 1995. – 641 с.
4. **Огнев, С. И.** Звери СССР и прилежащих стран / С. И. Огнев. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1947. – Т. 5. – С. 558–641.
5. **Лобков, В. А.** Крапчатый суслик Северо-Западного Причерноморья: биология, функционирование популяций / В. А. Лобков. – Одесса : Астропринт, 1999. – 272 с.
6. **Титов, С. В.** Пространственная структура поселений большого и крапчатого сусликов в Поволжье / С. В. Титов // Зоологический журнал. – 2001. – Т. 80, № 6. – С. 731–742.
7. **Титов, С. В.** Взаимоотношения крапчатого и большого сусликов в недавно возникшей зоне симпатрии : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Титов С. В. – М., 1999. – 24 с.
8. **Титов, С. В.** Дисперсия молодых в поселениях большого и крапчатого сусликов / С. В. Титов // Экология. – 2003. – № 4. – С. 289–295.
9. Красная книга Ульяновской области / под науч. ред. Е. А. Артемьевой, А. В. Масленникова, М. В. Корепова. – М. : Буки Веди, 2015. – 550 с.
10. Красная книга Пензенской области. Т. 2. Животные. – Пенза : Пензенская правда, 2005. – 300 с.
11. Красная книга Саратовской области. Грибы. Лишайники. Растения. Животные / Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : Изд-во Торгово-промышленной палаты Саратовской области, 2006. – 528 с.
12. Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы). – 2-е изд. – Казань, 2006. – 832 с.

13. Красная книга Чувашской Республики. Т. 1. Ч. 2. Животные. – Чебоксары : РГУП «ИПК Чувашия», 2011 (2010). – 372 с.
14. **Наумов, Р. В.** Особенности экологии и современное распространение степного сурка (*Marmota bobak* Muller, 1776) в Самарской области: предварительные данные / Р. В. Наумов, А. А. Кузьмин, С. В. Титов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 4 (4). – С. 60–69.
15. **Наумов, Р. В.** Современное распространение степного сурка (*Marmota bobak* Müller, 1776) в Ульяновской области / Р. В. Наумов, А. А. Кузьмин, С. В. Титов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2014. – № 4. – С. 153–159.

References

1. Titov S. V. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 2001, vol. 80, no. 2, pp. 230–235.
2. Titov S. V., Bakaeva S. S. *Materialy konf. «Sovremennye problemy zoo- i filogeografii mlekopitayushchikh» (g. Penza, 15–20 maya 2009 g.)* [Proceedings of the conference “Modern problems of zoo- and phylogeography of mammals” (Penza, 15th–20th May 2009)]. Moscow: TNI KMK, 2009, p. 99.
3. Gromov I. M., Erbaeva M. A. *Mlekopitayushchie fauny Rossii i sopredel'nykh territoriy (zaytseobraznye, gryzuny)* [Mammal faunae of Russia and adjacent territories (lagomorphs, rodents)]. Saint-Petersburg: Nauka, 1995, 641 p.
4. Ognev S. I. *Zveri SSSR i prilozhashchikh stran* [Animals of USSR and adjacent countries]. Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1947, vol. 5, pp. 558–641.
5. Lobkov V. A. *Krapchatyy suslik Severo-Zapadnogo Prichernomor'ya: biologiya, funktsionirovanie populyatsiy* [The speckled ground squirrel of North-Western Black Sea region: biology, population functioning]. Odessa: Astroprint, 1999, 272 p.
6. Titov S. V. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 2001, vol. 80, no. 6, pp. 731–742.
7. Titov S. V. *Vzaimootnosheniya krapchatogo i bol'shogo suslikov v nedavno vznikshyey zone simpatrii: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Interrelations of the speckled ground squirrel and the russet souslik in the recently-occurred sympatry zone: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow, 1999, 24 p.
8. Titov S. V. *Ekologiya* [Ecology]. 2003, no. 4, pp. 289–295.
9. *Krasnaya kniga Ul'yanovskoy oblasti* [The red book of Ulyanovsk region]. Ed. by E. A. Artem'eva, A. V. Maslennikov, M. V. Korepov. Moscow: Buki Vedi, 2015, 550 p.
10. *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. T. 2. Zhivotnye* [The red book of Penza region. Vol. 2. Animals]. Penza: Penzenskaya pravda, 2005, 300 p.
11. *Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti. Griby. Lishayniki. Rasteniya. Zhivotnye* [The red book of Saratov region. Fungi. Lichen. Plants. Animals]. Komitet okhrany okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniya Saratovskoy oblasti. Saratov: Izd-vo Torgovo-promyshlennoy palaty Saratovskoy oblasti, 2006, 528 p.
12. *Krasnaya kniga Respubliki Tatarstan (zhivotnye, rasteniya, griby)* [The red book of the Republic of Tatarstan (animals, plants, fungi)]. 2nd ed. Kazan, 2006, 832 p.
13. *Krasnaya kniga Chuvashskoy Respubliki. T. 1. Ch. 2. Zhivotnye* [The red book of the Republic of Chuvashia. Vol. 1. Part 2. Animals]. Cheboksary: RGUP «IPK Chuva-shiya», 2011 (2010), 372 p.
14. Naumov R. V., Kuz'min A. A., Titov S. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2013, no. 4 (4), pp. 60–69.
15. Naumov R. V., Kuz'min A. A., Titov S. V. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya* [Bulletin of Tver State University. Series: Biology and ecology]. 2014, no. 4, pp. 153–159.

Закс Светлана Сергеевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, научно-исследовательский отдел, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: s.s.zaks@yandex.ru

Zaks Svetlana Sergeevna

Candidate of biological sciences, senior staff scientist, research department, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Кузьмин Антон Алексеевич

кандидат биологических наук, доцент, кафедры биотехнологий и техносферной безопасности, Пензенский государственный технологический университет (Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11)

E-mail: kuzmin-puh@yandex.ru

Kuzmin Anton Alekseevich

Candidate of biological sciences, associate professor, sub-department of biotechnologies and technosphere safety, Penza State Technological University (1a/11 Baydukova lane/Gagarina street, Penza, Russia)

Титов Сергей Витальевич

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

E-mail: svtitov@yandex.ru

Titov Sergey Vital'evich

Doctor of biological sciences, professor, head of sub-department of zoology and ecology, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 591.557:599.322.2

Закс, С. С.

Современное распространение и биотопические предпочтения крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus* Guld.) в Среднем Поволжье / С. С. Закс, А. А. Кузьмин, С. В. Титов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 3 (15). – С. 47–56. DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-5

УДК 577.12

DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-6

Ж. В. Гришина, М. Т. Генгин

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЛКОВ И ПЕПТИДОВ В ЛИЧИНКАХ ТРУТНЕВОГО РАСПЛОДА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ

Аннотация.

Актуальность и цели. В нашей работе мы изучили физико-химические и биологические свойства белков и пептидов трутневых личинок с целью выяснения динамики изменения белков и пептидов в ходе развития трутневых личинок.

Материалы и методы. Работа выполнена на личинках трутневого расплода разного возраста. Получены препараты экстрактов пептидов из личинок трутневого расплода методом осаждения белков 5 % трихлоруксусной кислоты (ТХУ). Исследована динамика содержания белков и пептидов методом гель-фильтрация.

Результаты. Установлена динамика изменения содержания белков и пептидов в личинках трутневого расплода на разных стадиях развития. Показана количественная и качественная дифференциация белков и пептидов в зависимости от возраста личинок. Установлено, что содержание пептидов достигает максимума на пятые сутки развития личинок, минимум наблюдается на восьмые сутки.

Выводы. Предполагается, что такая динамика содержания пептидов на разных этапах развития личинок трутней обусловлена разной интенсивностью процессов, в регуляции которых принимают участие пептиды.

Ключевые слова: белки и пептиды, личинки трутневого расплода, метод гель-фильтрации.

Zh. W. Grishina, M. T. Gengin

A RESEARCH OF PROTEINS AND PEPTIDES IN DRONE BROOD LARVAE AT DIFFERENT STAGES OF DEVELOPMENT

Abstract.

Background. The physical, chemical and biological properties of proteins and peptides in ontogeny of drone larvae were researched. The dynamics of changes of proteins and peptides in drone brood larvae at different stages of development was analyzed.

Materials and methods. The experiment was carried out in drone brood larvae. Extracts of peptides were prepared by protein precipitation of 5 % TCA. The dynamics of changes of proteins and peptides was investigated by the gel filtration method.

Results. The authors have ascertained the dynamics of changes of proteins and peptides in drone brood larvae at different stages of development. The article shows the quantitative and qualitative differentiation of proteins and peptides by larvae age. It has been found that the content of peptides peaks on the 5th day of larval development, the minimum is observed on the 8th day.

Conclusions. It is assumed that the content of such dynamics of peptides at various stages of development of drone larvae is caused by different intensity of processes, partially regulated by peptides.

Key words: proteins and peptides, drone brood larvae, gel filtration method.

Введение

Изучению физиологически активных пептидов уже в течение многих лет уделяется большое внимание ввиду их участия в регуляции обмена веществ, а также возможности создания на их основе новых лекарственных препаратов [1, 2]. Широко известна их роль в регуляции различных процессов клеточной активности животных. В то же время данные о физиологических функциях пептидов в продуктах пчеловодства сравнительно скудны.

Пептиды представляют собой низкомолекулярные биорегуляторы, под контролем которых находятся важнейшие процессы онтогенеза животных: перестройка белков при смене фаз развития организма, закладка органов и других структур. Для животных систем показано, что пептиды, являющиеся производными белков, могут быть разделены на две основные группы: биоактивные пептиды, образующиеся в результате селективного действия пептидаз на специализированные белки-предшественники, и пептиды, образующиеся в результате протеолитической дегградации остальных белков, имеющих собственную, часто хорошо изученную функцию [3].

Таким образом, протеолиз (ферментативный гидролиз пептидных связей в белках и пептидах) – один из универсальных процессов живой природы. Он играет важную роль в поддержании стационарных концентраций белков в живой клетке [4].

Все без исключения структурные белки, ферменты, многочисленные по спектру физиологического действия пептиды в той или иной степени подвержены действию протеолитических ферментов. Исходя из сказанного можно сделать вывод, что протеолитические ферменты интересны в последнее время прежде всего как факторы регуляции обмена веществ [5].

Исходя из вышесказанного мы предприняли попытку исследовать динамику изменения белков и пептидов в ходе развития трутневых личинок. Динамика изменения количественного и качественного соотношения белков и пептидов в онтогенезе в быстрорастущих и активно развивающихся организмах, по нашему мнению, является адекватным показателем для выяснения их роли в процессе превращения личинок.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали личинки трутневого расплода 4, 5, 6, 7, 8, 9-суточного возраста.

Количественное содержание белков и пептидов в разных возрастах личинок определяли в 10 % водных экстрактах по методу Лоури [6]. 1 г личинок гомогенизировали в 10 мл 0,9 % NaCl, затем на рефрижераторной центрифуге в течение 30 минут при 10 000 об./мин отделяли оставшиеся неразрушенные клетки и субклеточные структуры. Все операции проводили в ледяной бане при температуре 5–7 °С.

Экстракты препаратов пептидов получали путем осаждения белков 5 % ТХУ с последующим центрифугированием 4000 об./мин 20 минут. Осадок отбрасывали, а надосадочную жидкость использовали как источник пептидов.

Разделения белковой и пептидной фракций в исходных экстрактах осуществляли методом гель-фильтрации на колонке 35×1,5 см, заполненной сефадексом G-25. На колонку, предварительно уравновешенную 0,9 % NaCl, наносили 500 мкл раствора белка с концентрацией 4 мг/мл. Скорость элюции

белков с колонки составила 30 мл/ч, собирали 30 проб по 2 мл. Параметры колонки определяли по голубому декстрану и рибофлавиону [7]. Параметры колонки: свободный объем – 20 мл, внутренний – 58 мл. Концентрацию элюирующихся белков измеряли спектрофотометрически при длине волны 280 нм.

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программы Microsoft Excel 2010. Сравнение средних значений показателей определяли с использованием *t*-критерия Стьюдента, дисперсионного анализа и критерия U Манна – Уитни [8].

Результаты и их обсуждение

Количественное соотношение белков и пептидов в личинках трутневого расплода разного возраста представлено на рис. 1.

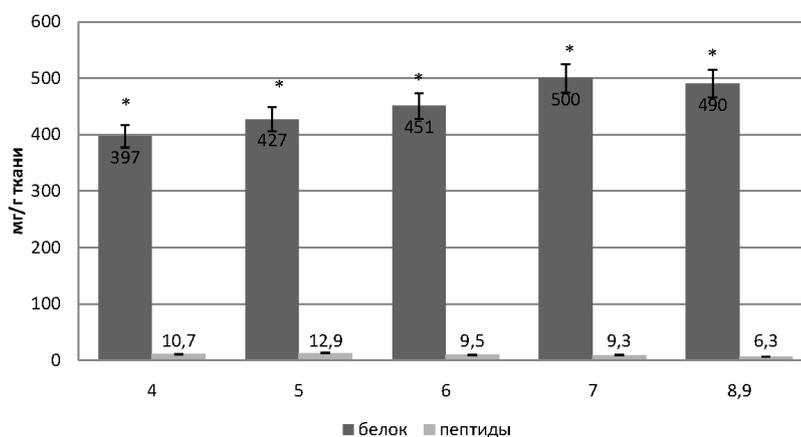


Рис. 1. Содержание белков и пептидов в мг на 1 г ткани личинок трутневого расплода разных возрастов: ось абсцисс – возраст личинок, сутки, ось ординат – содержание белков и пептидов в мг/г свежей ткани ($M \pm m$, $n = 5$, $p < 0,05$)

На данном рисунке видно, что по мере развития личинки трутня количество белка возрастает: у 4-суточных личинок в 1 грамме свежей ткани содержится 397 мг белка, на 8 сутки содержание белка достигает 490 мг, в то время как количество пептидов, наоборот, снижается. Судя по нашим данным, у личинок 4-суточного возраста количество пептидов на 1 грамм свежей ткани составляет 10,7 мг. У 5-суточных личинок наблюдается максимум содержания пептидов – 12,9 мг, на 6 сутки количество пептидов резко уменьшается – 9,5 мг, минимальное содержание пептидов обнаружено у 8–9-суточных личинок – 6,3 мг, что вдвое меньше, чем у 5-суточных личинок.

Это может свидетельствовать о том, что именно на ранних стадиях развития личинки наиболее интенсивно протекают процессы биосинтеза белка, в регуляции которого принимают участие пептиды [9, 10].

Для дифференцировки белков и пептидов по молекулярной массе использовали гель-фильтрацию на колонке, заполненной сефадексом G-25. На колонку наносили образцы каждого возраста: исходных 10 % водных экстрактов и препараты пептидов. Результаты разделения высокомолекулярных белков и пептидов и низкомолекулярных представлены на рис. 2.

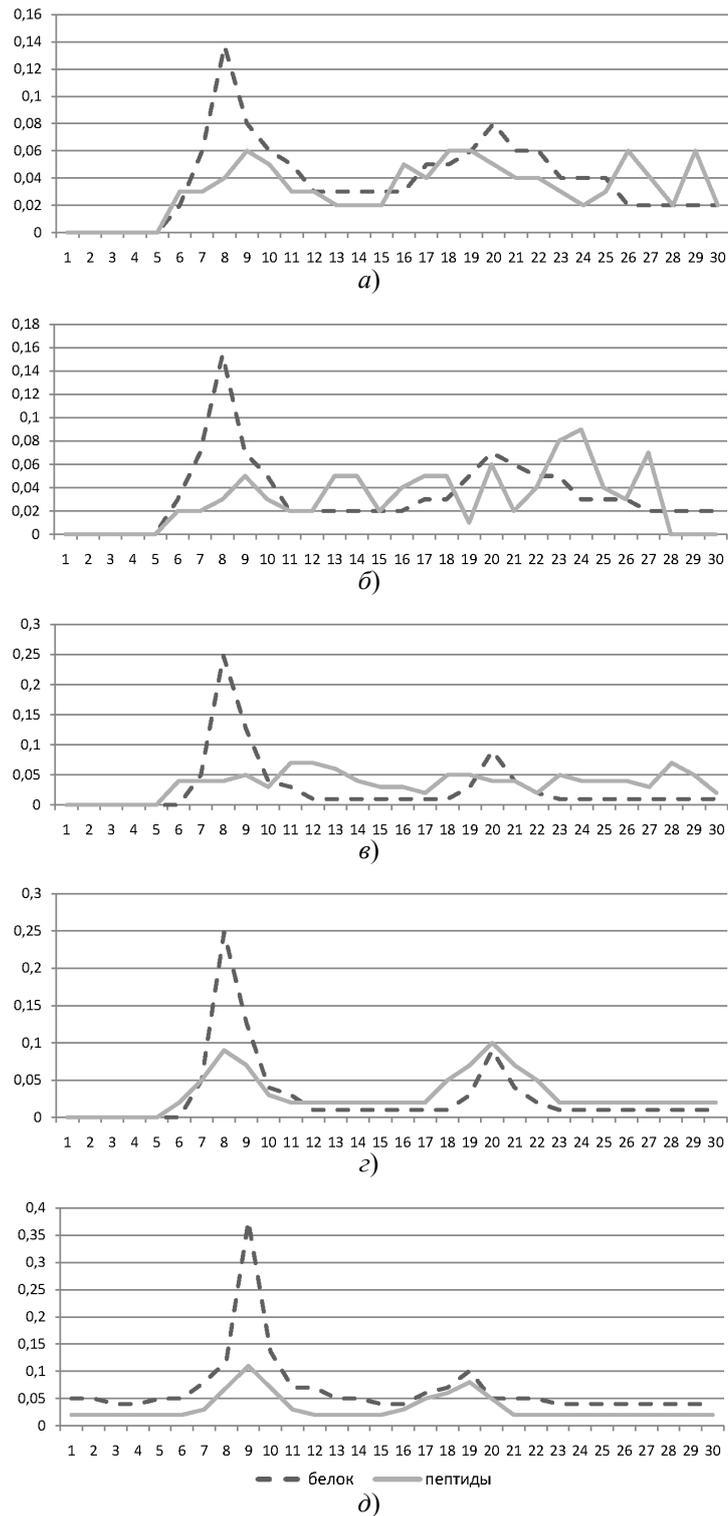


Рис. 2. Профили элюции белков экстрактов личинок трутневого расплода на разных стадиях развития: ось абсцисс – номер фракции, ось ординат – оптическая плотность при 280 нм: а – 4-суточные; б – 5-суточные; в – 6-суточные; г – 7-суточные; д – 8-9-суточные

При рассмотрении рисунка видно, что профили элюции исходных 10 % экстрактов имеют два белковых пика: в свободном объеме – высокомолекулярный пик (белковый) и низкомолекулярный пик (пептидный) за свободным объемом.

На начальных стадиях развития личинки разнообразие пептидов значительно выше, о чем свидетельствуют профили элюции препаратов пептидов. Из рис. 2 видно, что профиль элюции пептидов 4, 5, 6-суточных личинок значительно отличается от профилей элюции пептидов более поздних возрастов, в которых характер кривой препаратов пептидов аналогичен кривой исходных экстрактов.

По результатам анализов профиля элюции белков и пептидов на разных стадиях развития личинок трутней можно предположить, что на начальных этапах развития личинок разнообразие пептидов несколько больше, чем на поздних этапах. Начиная с 7-суточного возраста и по 11 сутки профиль элюции имеет аналогичный характер распределения белков и пептидов: 1 пик в свободном объеме (высокомолекулярные пептиды) и 2 пик за свободным объемом (низкомолекулярные пептиды). По литературным данным, именно фракция низкомолекулярных пептидов (до 5 кДа) обладает регуляторным и ноотропным действием [1, 9].

Выводы

1. В ходе развития личинок трутней происходит увеличение содержания общего белка от 4–5 суток к 8–9, в то время как содержание пептидов, наоборот, снижется.

2. Максимально содержание пептидов обнаружено у 5-суточных личинок.

Список литературы

1. **Мясоедов, Н. Ф.** Разработка основ создания пептидных лекарственных препаратов / Н. Ф. Мясоедов // Белки и пептиды : тр. V Российского симп. – Петрозаводск, 2011. – 52 с.
2. **Лазарян, Д. С.** Сравнительное изучение аминокислотного состава пчел / Д. С. Лазарян // Химико-фармацевтический журнал. – 2002. – Т. 36, № 12. – С. 42–44.
3. **Скрипников, А. Ю.** Поиск и идентификация пептидов мха *Physcomitrella patens* / А. Ю. Скрипников, Н. А. Аниканов, В. С. Казаков, С. В. Долгов, Р. Х. Зиганшин, В. М. Говорун, В. Т. Иванов // Биоорганическая химия. – 2011. – Т. 37. – С. 95–104.
4. **Немова, Н. Н.** К вопросу об эволюции протеолитических ферментов / Н. Н. Немова, Л. А. Бондарева // Биомедицинская химия. – 2008. – Т. 54, вып. 1. – С. 42–57.
5. **Генгин, М. Т.** Особенности структурно-функциональной организации и физико-химические свойства нелизосомальных пептидгидролаз мозга животных : дис. ... д-ра биол. наук / Генгин М. Т. – Пенза, 2002. – С. 13–15.
6. **Lowry, O. H.** Protein measurement with the Folin phenol reagent / O. H. Lowry, N. J. Rosebrought, A. G. Farr, R. J. Randall // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, № 1. – P. 265–275.
7. **Соловьев, В. Б.** Лабораторный практикум «Физико-химические методы исследований» : учеб.-метод. пособие для студентов 3 курса специальности «Биохимия» / В. Б. Соловьев, М. Т. Генгин ; Пензенский государственный педагогический университет имени В. Г. Белинского. – Пенза, 2012. – 72 с.

8. **Ивантер, Э. В.** Элементарная биометрия : учеб. пособие / Э. В. Ивантер, А. В. Коросов. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2010. – 104 с.
9. **Хомутов, А. Е.** Регуляторные пептиды : учеб.-метод. пособие / А. Е. Хомутов, К. А. Пурсанов, З. В. Перепелюк. – Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2014. – 73 с.
10. **Хавинсон, В. Х.** Влияние регуляторных пептидов на транскрипцию генов / В. Х. Хавинсон, Л. К. Шатаева, А. А. Чернова // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2003. – Т. 136, № 9. – С. 328–330.

References

1. Myasoedov N. F. *Belki i peptidy: tr. V Rossiyskogo simp.* [Proteins and peptides: proceedings of V Russian symposium]. Petrozavodsk, 2011, 52 p.
2. Lazaryan D. S. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* [Chemical and pharmaceutical journal]. 2002, vol. 36, no. 12, pp. 42–44.
3. Skripnikov A. Yu., Anikanov N. A., Kazakov V. S., Dolgov S. V., Ziganshin R. Kh., Govorun V. M., Ivanov V. T. *Bioorganicheskaya khimiya* [Bioorganic chemistry]. 2011, vol. 37, pp. 95–104.
4. Nemova N. N., Bondareva L. A. *Biomeditsinskaya khimiya* [Biomedical chemistry]. 2008, vol. 54, iss. 1, pp. 42–57.
5. Gengin M. T. *Osobennosti strukturno-funktsional'noy organizatsii i fiziko-khimicheskie svoystva nelizosomal'nykh peptidgidrolaz mozga zhivotnykh: dis. d-ra biol. nauk* [Features of structural and functional organization and physical and chemical properties of non-lysosomal peptidhydrolases of animal brain: dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Penza, 2002, pp. 13–15.
6. Lowry O. H., Rosebrought N. J., Farr A. G., Randall R. J. *J. Biol. Chem.* 1951, vol. 193, no. 1, pp. 265–275.
7. Solov'ev V. B., Gengin M. T. *Laboratornyy praktikum «Fiziko-khimicheskie metody issledovaniy»: ucheb.-metod. posobie dlya studentov 3 kursa spetsial'nosti «Biokhimiya»* [Laboratory work “Physical and chemical methods of research”: learner’s guide for 3rd year students of biochemistry major]. Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky. Penza, 2012, 72 p.
8. Ivanter E. V., Korosov A. V. *Elementarnaya biometriya: ucheb. posobie* [Elementary biometrics: learner’s guide]. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2010, 104 p.
9. Khomutov A. E., Pursanov K. A., Perepelyuk Z. V. *Regulyatornye peptidy: ucheb.-metod. posobie* [Regulatory peptides: learner’s guide]. Nizhny Novgorod: Izd-vo NNGU, 2014, 73 p.
10. Khavinson V. Kh., Shataeva L. K., Chernova A. A. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* [Bulletin of experimental biology and medicine]. 2003, vol. 136, no. 9, pp. 328–330.

Гришина Жанна Валерьевна
аспирант, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: grinzanetk@gmail.com

Генгин Михаил Трофимович
доктор биологических наук, профессор,
кафедра общей биологии и биохимии,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: gengin07@yandex.ru

Grishina Zhanna Waler'evna
Postgraduate student, Penza State
University (40 Krasnaya street, Penza,
Russia)

Gengin Mikhail Trofimovich
Doctor of biological sciences, professor,
sub-department of biology and
biochemistry, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 577.12

Гришина, Ж. В.

Исследование белков и пептидов в личинках трутневого расплода на разных стадиях развития / Ж. В. Гришина, М. Т. Генгин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 3 (15). – С. 57–63. DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-6

УДК 541-138

DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-7

С. С. Попова, Е. С. Гусева, Р. К. Францев

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИНТЕРКАЛИРОВАНИЕ ЛАНТАНА И ФУЛЛЕРЕНА ИЗ НЕВОДНЫХ ФТОРИДСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ – НОВОЕ ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЕМКОСТИ $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ -ЭЛЕКТРОДА

Аннотация.

Актуальность и цели. Несмотря на большой объем производства литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), проблема повышения их эффективности и удешевления до сих пор является весьма актуальной. Следует отметить, что одной из основных проблем в создании положительных электродов на основе литированных оксидных соединений марганца, имеющих наиболее высокие характеристики, является отсутствие достаточно надежных, доступных и дешевых технологий получения материалов, обладающих способностью обратимо интеркалировать ионы лития, что в свою очередь приведет к повышению удельной емкости, расширению диапазона напряжений циклирования, а также уменьшению деградации материала при длительном циклировании и хранении. Целью настоящей работы было исследование кинетики и механизма внедрения лития в MnO_2 -электрод, подвергнутый предварительно электрохимическому модифицированию путем интеркалирования лантана совместно с фуллереном из неводных фторидсодержащих растворов, установление кинетических закономерностей литирования и механизма повышения емкостных характеристик модифицированного фуллереном и фторид-ионами $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ -электрода.

Материалы и методы. Материалами для работы служили полученные нами в научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) «Литиевые источники тока» на кафедре «Химические технологии» Саратовского государственного технического университета (СГТУ) электроды: Li_xMnO_2 , $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma(\text{C}_{60})_n$. Модифицированные с помощью метода катодного внедрения электроды циклировали в потенциодинамическом и гальваностатическом режимах, рассчитывали удельную емкость электродов после каждого очередного цикла заряда/разряда. Состав электродов исследовали с помощью рентгенофазового анализа и метода сканирующей электронной микроскопии.

Результаты. Для образцов, модифицированных лантаном в растворе, содержащем добавки фторида лития и фуллерена, характерны наибольшая отдача по емкости и наименьшая скорость деградации материалов электродов.

Выводы. Полученные данные по влиянию добавок фуллерена и фторид-ионов на кинетику модифицирования MnO_2 -электрода лантаном и на последующий процесс интеркалирования-деинтеркалирования лития позволяют сделать вывод об эффективности использования фуллерена и фторидов в качестве модификаторов, способствующих повышению сохранности заряда и тем самым увеличению длительности циклирования по ионам лития. Для

$\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma(\text{C}_{60})_n$ -электрода плотность тока заряда по сравнению с исходным MnO_2 -электродом возрастает в 4–5 раз и составляет 68 mA/cm^2 . После 100 циклов заряд-разряда емкость $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma(\text{C}_{60})_n$ -электрода в два раза превышает емкость исходного диоксида марганца.

Ключевые слова: литий-ионные аккумуляторы, диоксид марганца, лантан, литий, интеркалирование, фуллерен, фторид-ион.

S. S. Popova, E. S. Guseva, R. K. Frantsev

ELECTROCHEMICAL INTERCALATION OF LANTHANUM AND FULLERENE FROM NONAQUEOUS FLUORIDE SOLUTIONS – A NEW PERSPECTIVE DIRECTION IN IMPROVEMENT OF $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ -ELECTRODE CAPACITY

Abstract.

Background. Despite a large volume of lithium ion accumulators production, the urge to increase their efficiency and reduce costs is still very topical. It should be noted that one of the main problems in creation of positive electrodes based on the lithiumized manganese oxide compounds with the highest characteristics is a lack of reliable, available and cheap technologies of production of materials with capability to make a reverse lithium ion intercalation that in turn will bring an increase in specific reservoir, expansion of the range of tension of cycling, and also reduction of material degradation in case of long cycling. The purpose of the work is to make a research of kinetics and a mechanism of the joint electrochemical intercalation of lanthanum and fullerene from nonaqueous fluoride containing solutions in MnO_2 -electrode before it is lithiumized; and to define kinetic regularities and a mechanism of increasing capacitor characteristics, modified by fullerene and fluoride-ions of $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$.

Materials and methods. Cycling of Li_xMnO_2 , $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma(\text{C}_{60})_n$ electrodes was carried out in the potentiodynamic mode. The authors calculated the specific electrode capacitance after each charge-discharge cycle. The structure of electrodes was researched by means of the X-ray phase analysis and the method of scanning electronic microscopy.

Results. The influence of simultaneous modifying of MnO_2 of an electrode by lanthanum and lithium in nonaqueous organic electrolyte containing fullerene soot in addition to lithium fluoride was considered. The comparative research of separate and joint influence of the used additives was conducted, the data on characteristics of charging and digit cycles for the researched electrodes were provided. According to the obtained data the highest density of current with the identical duration of processes were observed in case of simultaneous fullerene soot and lithium fluoride additives introduction into the electrolyte solution. The greatest capacity efficiency and the lowest rate of degradation are characteristic of the samples modified by lanthanum at presence of additives of fluoride of lithium and fullerene in the solution.

Conclusions. The obtained data on the influence of additives of fullerene and fluoride-ions on kinetics of the modified MnO_2 -electrode by lanthanum and on the subsequent process of intercalation-deintercalation of lithium brings us to a conclusion about the efficiency of using fullerene and fluorides as modifiers, promoting increased conservation of electrode charge and, thereby, increased cycling duration.

Key words: lithium ion accumulators, MnO_2 , lanthanum, lithium intercalation, fullerene, fluoride ion.

Поиски новых эффективных технологий в области литиевых источников тока (ЛИТ) направлены на увеличение практической удельной энергии и ведутся в основном в трех направлениях [1–9]:

- модифицирование свойств активных материалов электродов путем внедрения в их состав различных добавок путем специальной электрохимической или термохимической обработки;
- разработка биполярной конструкции электродов;
- разработка тонкопленочных аккумуляторов с твердым электролитом на полимерной основе.

Известно, что для металлов главных подгрупп характерно образование сильной ковалентной связи между компонентами сплава, что приводит к хрупкости межзеренных границ и снижению механической прочности электродов в процессе циклирования [1]. Подавление интеркристаллитного разрушения оказалось возможным благодаря замещению в интерметаллических соединениях части атомов атомами третьего компонента, обладающего более высокой разностью валентностей относительно атомов исходного сплава. Воздействие по «дефектам связи» на межзеренных границах сплава LiAl путем электрохимической обработки в растворах солей кадмия, цинка, свинца, лантаноидов по методу катодного внедрения позволило более чем в два–семь раз повысить циклируемость электродов и увеличить ресурс работы аккумулятора. Улучшились не только механические свойства модифицированного LiAl-электрода, сильное изменение претерпели и диффузионные характеристики процесса внедрения лития: начальная концентрация литиевых дефектов выросла более чем в десять раз (от $0,57 \cdot 10^{-2}$ до $(6,6 \dots 7,8) \cdot 10^{-2}$ моль/см³) [2, 10].

Исследование электрохимического поведения интерметаллических соединений лития с алюминием, цинком, магнием, кадмием, редкоземельными металлами в апротонных органических растворах солей лития показало, что метод электрохимического внедрения позволяет реализовать высокую обратимость таких систем в литиевом аккумуляторе благодаря использованию в качестве активного материала положительного электрода слоистых соединений графита типа C_8CrO_3 , $C_{15}V_2O_5$, C_xMnO_2 , интеркалирование которых ионами лития также характеризуется высокой степенью обратимости. Обратимая работа системы, например типа LiAl(Me)/LiClO₄, ПК+ДМЭ/ C_8CrO_3 (MnO_2), обеспечивается протеканием суммарной реакции



благодаря принципиально новому подходу к подбору материалов электродов [1]. В отрицательном электроде из интерметаллического соединения (LiAl) металл электродной основы (Al) служит как бы матрицей, «емкостью» для накопления лития (при заряде). При разряде положительного электрода на основе слоистого соединения графита (C_8CrO_3 , C_xMnO_2 и др.) происходит заполнение межслоевого пространства кристаллической решетки этого материала ионами лития с образованием нового слоистого соединения $Li_xC_8CrO_3$ (Li_xMnO_2) за счет изменения валентности хрома (или валентности марганца в MnO_2). Таким образом, C_8CrO_3 (или MnO_2) служат «резервуаром»

для ионов лития, участвующих в реакции катодного внедрения на отрицательном электроде.

Литированные оксиды марганца типа шпинелей являются среди наиболее широко используемых катодных материалов для литий-ионных аккумуляторов лучшими по экономическим соображениям и экологической безопасности. К сожалению, успешной коммерциализации подобных материалов мешает заметное падение емкости электрода в ходе циклирования из-за диспропорционирования ионов марганца, искажения кристаллической решетки MnO_2 вследствие действия эффекта Яна – Теллера и собственно растворения активного материала. В настоящий момент большинство работ [4–8] направлено на поиск путей повышения стабильности структуры литированного оксида марганца и одновременно с этим уменьшения влияния этих факторов за счет модифицирования, позволяющего изменять состав без заметного искажения структуры. Одним из возможных вариантов решения данной проблемы является внедрение катионов других металлов, например редкоземельных элементов, в катионную подрешетку MnO_2 [2, 4]. Параллельно уменьшить степень окисления марганца, повысить его стабильность в апротонной среде и тем самым повысить емкость электродного материала можно путем внедрения в качестве модифицирующего материала в анионную подрешетку MnO_2 фторид-ионов [10].

Положительное влияние модифицирования литий-марганцевых шпинелей фторид-ионами по методу катодного внедрения и золь-гель-методу отмечено в [4, 11, 12]. Комплексные соединения, образуемые фторид-ионами на поверхности оксидов типа $MnO_{2-\sigma}F_\sigma$, отличаются высокой стабильностью и устойчивостью к восстановительным процессам [11, 13, 14].

Ионы фтора согласно спектральным данным располагаются в междоузлиях. Накопление их в междоузлиях и возможность их диффузии по кристаллу создают условия для захвата ионов F^- кубическими центрами ионов La^{3+} . Это приводит к генерации тетрагональных центров La^{3+} и согласуется с предположением о существовании в ближайшем окружении La^{3+} вакансий, которые способны захватывать ионы F^- , расположенные в междоузлиях [15].

Билогарифмический характер зависимости $E_{6/T}$ от времени позволяет говорить, что определяющую роль в стехиометрии образующегося слоя играет распределение катионов La^{3+} . Усилению донорной активности фторид-ионов должна способствовать высокая электроотрицательность фуллерена C_{60} .

Фуллерены и соединения на их основе обладают уникальными свойствами. В твердой фазе они имеют плотноупакованную гранецентрированную кубическую (ГЦК) решетку с относительно слабыми межмолекулярными связями, построенную из двух тетраэдрических и одной октаэдрической пустот на одну молекулу и большой плотностью дефектов упаковки. Это делает C_{60} удобным объектом для интеркалирования не только щелочных и редкоземельных металлов, но также кислорода, фтора и др. [15, 16].

При интеркалировании ионов щелочных металлов в твердотельной ячейке фуллерен C_{60} образует соединение M_xC_{60} :



После 11 циклов интеркалирования-деинтеркалирования, согласно данным рентгеновской дифрактометрии, состав соединения отвечал $x = 1,1$ [16].

В отличие от M_xC_{60} соединения $C_{60}F_x$ обладают высокими электронно-акцепторными свойствами. Согласно данным ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и рентгеноструктурного анализа (РСА) [15] растет плотность донорных состояний фтора и в соединении состава $C_{60}F_{18}$ все атомы фтора располагаются на одной полусфере. Таким образом, на их основе можно получать донорно-акцепторные комплексы с долгим временем жизни. Таким образом, представляется важным исследование влияния совместно фуллерена и фторид-ионов в растворе на количество интеркалированных ионов La^{3+} в подрешетке марганца и миграцию энергии возбуждения между ионами с локализацией дырок непосредственно на ионах La^{3+} .

Материалы и методы

Материалами для работы служили полученные нами в НИИ «Литиевые источники тока» на кафедре «Химические технологии» СГТУ электроды: Li_xMnO_2 , $Li_xLa_yMn_{1-y}O_2$, $Li_xLa_yMn_{1-y}O_{2-\delta}F_\delta$, $Li_xLa_yMn_{1-y}O_2(C_{60})_n$, $Li_xLa_yMn_{1-y}O_{2-\delta}F_\delta(C_{60})_n$.

Исследование электрохимического модифицирования MnO_2 -электрода лантаном одновременно с фуллереном и фторид-ионами проводили в растворе на основе апротонного органического растворителя (диметилформамида), содержащем помимо салицилата лантана $(La(OH-C_6H_4-COO)_3)$ фторид лития (LiF) или фуллерен (C_{60}). Катодное внедрение лантана осуществляли из 0,5 М раствора салицилата лантана в диметилформамид (ДМФ) в потенциостатическом режиме при потенциале $E = -2,9$ В (относительно неводного хлорсеребряного электрода (ХСЭ)) в течение 30 минут. Концентрация добавки фторида лития, вводимой в раствор соли лантана, составляла 14 г/л, содержание фуллерена $C_{60} = 28,1$ г/л.

Смещение бестоковых потенциалов $Li_xLa_yMn_{1-y}O_{2-\delta}F_\delta$ и $Li_xLa_yMn_{1-y}O_2(C_{60})_n$ в отрицательную сторону при увеличении концентрации в растворе как LiF, так и C_{60} (рис. 1) связано с тем, что наряду с внедрением лантана и лития происходит внедрение ионов F^- и фуллерена. Последнее подтверждается результатами и спектрами характеристического излучения (рис. 2).

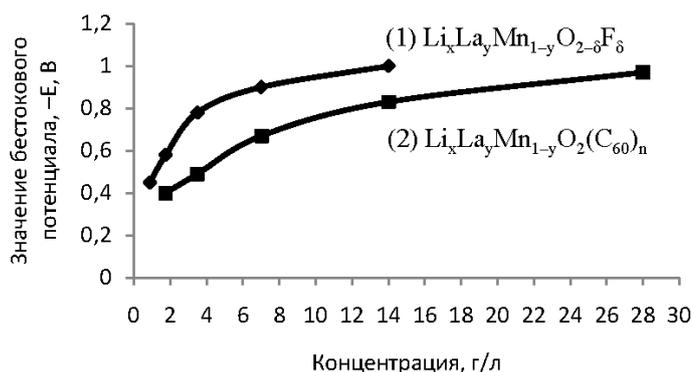


Рис. 1. Зависимость бестокового потенциала электродов $Li_xLa_yMn_{1-y}O_{2-\delta}F_\delta$ (1) и $Li_xLa_yMn_{1-y}O_2(C_{60})_n$ от концентрации добавки соответственно LiF (1) и C_{60} (2) в 0,5 М раствора салицилата лантана в ДМФ

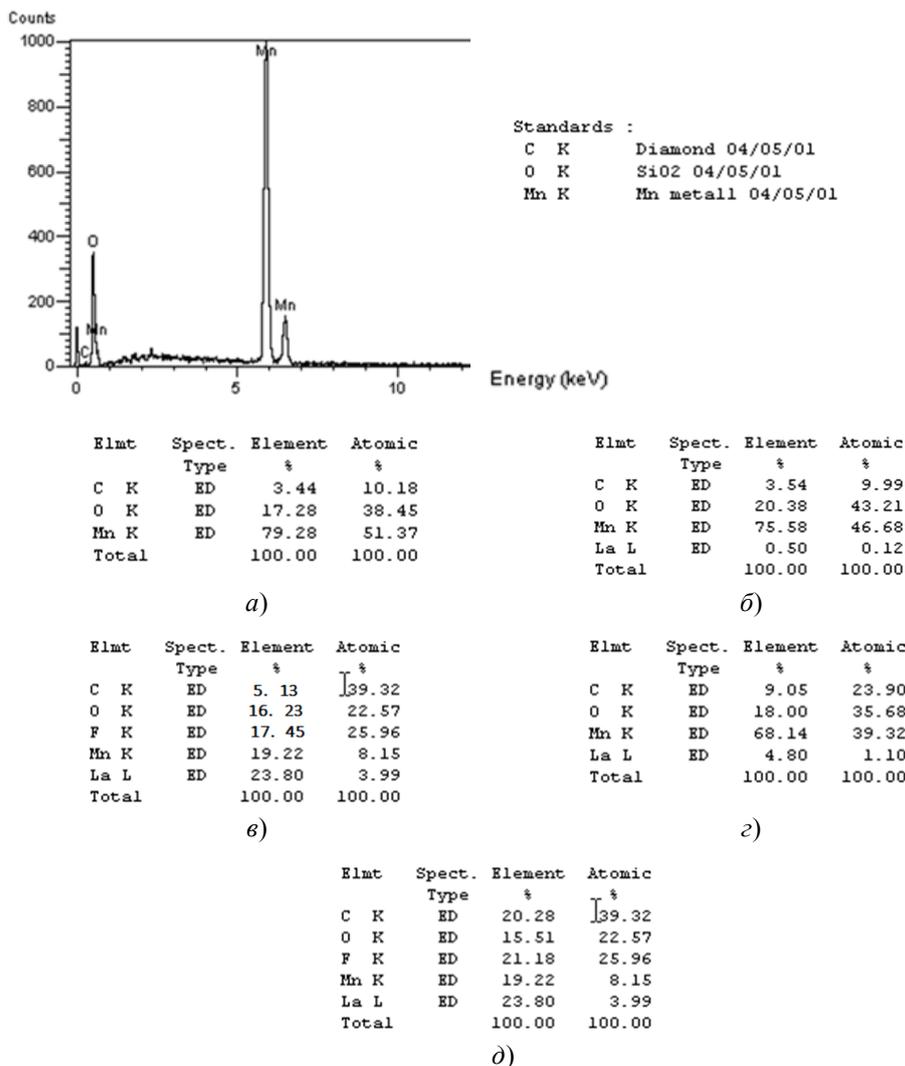


Рис. 2. Спектр характеристического излучения исходного MnO_2 , элементный состав электродов: а) MnO_2 ; б) $La_xMn_{1-y}O_2$; в) $La_yMn_{1-y}O_{2-\delta}F_\delta$; г) $La_yMn_{1-y}O_2(C_{60})_n$; д) $La_yMn_{1-y}O_{2-\delta}F_\delta(C_{60})_n$

При совместном введении фторид-ионов и фуллерена в раствор салицилата лантана эффект значительно усиливается и отрицательное значение $E_{\delta/T}$ $Li_xLa_yMn_{1-y}O_{2-\sigma}F_\sigma(C_{60})_n$ -электрода возрастает почти вдвое (рис. 3). Это позволяет говорить о синергизме совместного влияния фуллерена и фторид-ионов в составе $Li_xLa_yMn_{1-y}O_{2-\sigma}F_\sigma(C_{60})_n$ -электрода.

В исследованном интервале концентраций фторида и фуллерена (см. рис. 1, 3) бестоковые потенциалы $Li_xLa_yMn_{1-y}O_{2-\sigma}F_\sigma$ - и $Li_xLa_yMn_{1-y}O_2(C_{60})_n$ -электродов практически перестают зависеть от концентрации добавок. Смещение потенциала $E_{\delta/T}$ в отрицательную сторону однозначно указывает на участие катионов La^{3+} , C_{60} , LiF в формировании новой структуры с более высоким электроотрицательным потенциалом (см. рис. 1, 3), что способствует внедрению большего количества катионов $La^{3+} Li^+$.

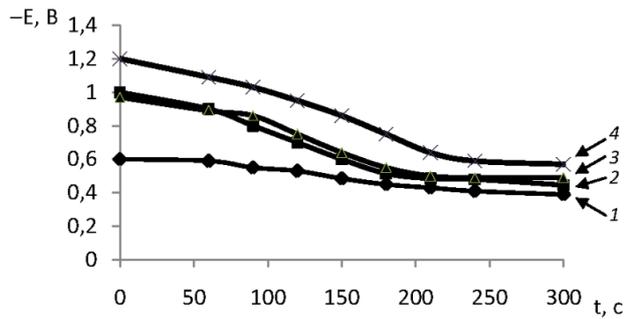


Рис. 3. Бестоковые хронопотенциограммы электродов $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ (1), $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\delta$ (2), $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$ (3) и $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\delta(\text{C}_{60})_n$ (4) в 0,8 М раствора LiClO_4 в смеси ПК + ДМЭ (1:1)

Модифицирование литием осуществляли в 0,8 М раствора перхлората лития в смеси пропиленкарбоната и диметоксиэтана в соотношении 1:1 при потенциале $E = -2,9$ В в течение 1 часа. Результаты сравнительного исследования отдельного и совместного влияния используемых добавок соли лантана, фуллерена и фторид-ионов (рис. 4, 5) на литируемость изготовленных электродов хорошо согласуются с результатами бестоковой хронопотенциометрии в части увеличения лития в составе электрода и повышения его емкости по литию.

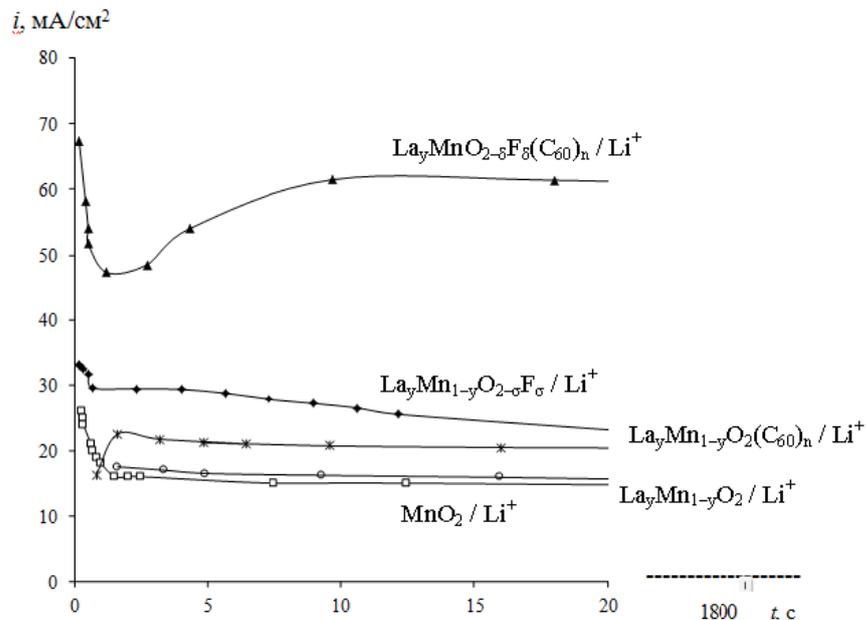


Рис. 4. Ход $i-t$ -кривых внедрения Li^+ при $E = -2,9$ В в MnO_2 - и $\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ -электроды, изготовленные путем катодной обработки в 0,5 М раствора салицилата лантана в ДМФ в отсутствие и при введении в раствор добавок LiF (14 г/л) и фуллерена C_{60} (28,1 г/л). Время катодной обработки во всех случаях составило 30 минут

Модифицированные электроды циклировали в гальваностатическом и потенциодинамическом режимах. После каждого цикла заряда/разряда в гальваностатическом режиме рассчитывали удельную емкость (табл. 1).

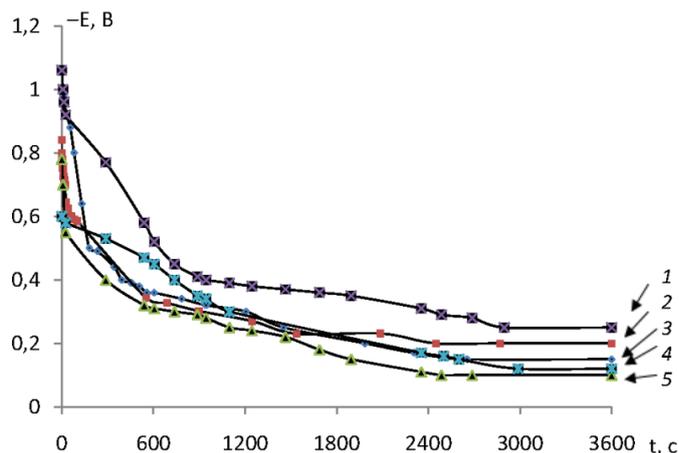


Рис. 5. Гальваностатические кривые модифицированных диоксидномарганцевых электродов в растворе 0,8 М LiClO₄ в смеси ПК + ДМЭ (при плотности тока $i = 0,05 \text{ mA/cm}^2$): 1 – Li_xLa_yMn_{1-y}O_{2-σ}F_σ(C₆₀)_n; 2 – Li_xLa_yMn_{1-y}O₂(C₆₀)_n; 3 – Li_xLa_yMn_{1-y}O_{2-σ}F_σ; 4 – Li_xLa_yMn_{1-y}O₂; 5 – Li_xMnO₂

Таблица 1

Значения удельной емкости заряда/разряда в зависимости от номера цикла при гальваностатическом режиме ($i_p = 0,05 \text{ mA/cm}^2$), конечный потенциал разряда $E_p = -(0,2 \pm 0,1) \text{ В}$

Электрод	Номер цикла N	Удельная разрядная емкость Q_p , мАч/г	Удельная зарядная емкость Q_z , мАч/г	Отдача по емкости, %
Li _x MnO ₂	1	218,7	240,0	91,1
	5	128,4	240,0	53,5
	10	39,3	240,0	16,4
	100	20,0	240,0	8,3
Li _x La _y Mn _{1-y} O ₂	1	173,0	240,0	72,1
	5	137,3	240,0	57,2
	50	70,5	240,0	29,4
	100	38,6	240,0	16,1
Li _x La _y Mn _{1-y} O _{2-σ} (C ₆₀) _n	1	182,5	240,0	82
	5	132,5	240,0	55
	50	88,3	240,0	36,8
	100	72	240,0	30
Li _x La _y Mn _{1-y} O _{2-σ} F _σ	1	176	240	74
	5	144,0	240	60
	50	105,6	240	44
	100	53,2	240	22,5
Li _x La _y Mn _{1-y} O _{2-σ} F _σ (C ₆₀) _n	1	180,6	240	75,2
	5	141,4	240	58
	10	50,6	240	21,1
	100	40,8	240	16,8

Циклические потенциодинамические кривые (рис. 6) для каждого из модифицированных диоксидномарганцевых электродов Li_xMnO₂, Li_xLa_yMn_{1-y}O₂,

$\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma(\text{C}_{60})_n$ снимали в диапазоне потенциалов от -4 до -1 В при скорости развертки потенциала 80 мВ/с.

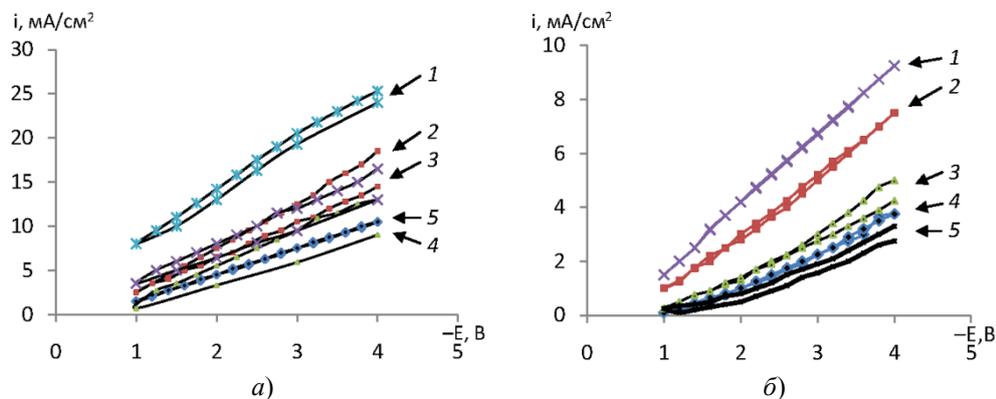


Рис. 6. Влияние состава материала модифицированных диоксидномарганцевых электродов: 1 – $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma(\text{C}_{60})_n$; 2 – $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}\text{F}_\sigma$; 3 – $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$; 4 – $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$; 5 – Li_xMnO_2 на ход циклических потенциодинамических поляризационных кривых (ЦПДК) на первом цикле (а), на ход ЦПДК на сотом цикле (б) при скорости развертки потенциала 80 мВ/с

Состав электродов исследовали с помощью рентгенофазового анализа и метода сканирующей электронной микроскопии.

Рентгенофазовый анализ образцов проводили на дифрактометре ДРОН 3.0 в фильтрованном FeK_α -излучении с фокусировкой по Бреггу – Брентано. По перераспределению дифракционных максимумов анализировали изменение фазового состава и проводили идентификацию структуры образующихся фаз. Кроме того, были сняты рентгеновские дифрактограммы изготовленных образцов электродов $\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\delta$ на дифрактометре «Rigaku ФМАХ 2200/РС» (рис. 7). Для статистического анализа дифракционных максимумов составляли таблицу распределения кристаллографических плоскостей в спектре дифракционных максимумов. Идентификацию вещества осуществляли по набору значений d/n путем сравнения экспериментальных значений d/n с эталонными образцами [17]. Для анализа дифрактограмм использовали базу данных РС PDFWIN, v. 2.02, 1999, Международного Центра по дифракционным данным (JCPDS).

Морфологию поверхности рабочих образцов исходного MnO_2 , La_yMnO_2 , $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\delta$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\delta(\text{C}_{60})_n$, в том числе и сколов, исследовали на сканирующем электронном микроскопе JSM-5900LV фирмы JEOL (рис. 8). Одновременно снимали спектры характеристического рентгеновского излучения (см. рис. 2), которые позволили получить карты распределения элементов на отдельных участках образцов и провести расчеты концентраций элементов на микроучастках образцов диоксида марганца MnO_2 до и после катодной обработки в растворе салицилата лантана La_yMnO_2 , а также образцов $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ до и после введения добавок $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\delta(\text{C}_{60})_n$ фторида лития $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\delta$ и фуллерена $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$ (рис. 8).

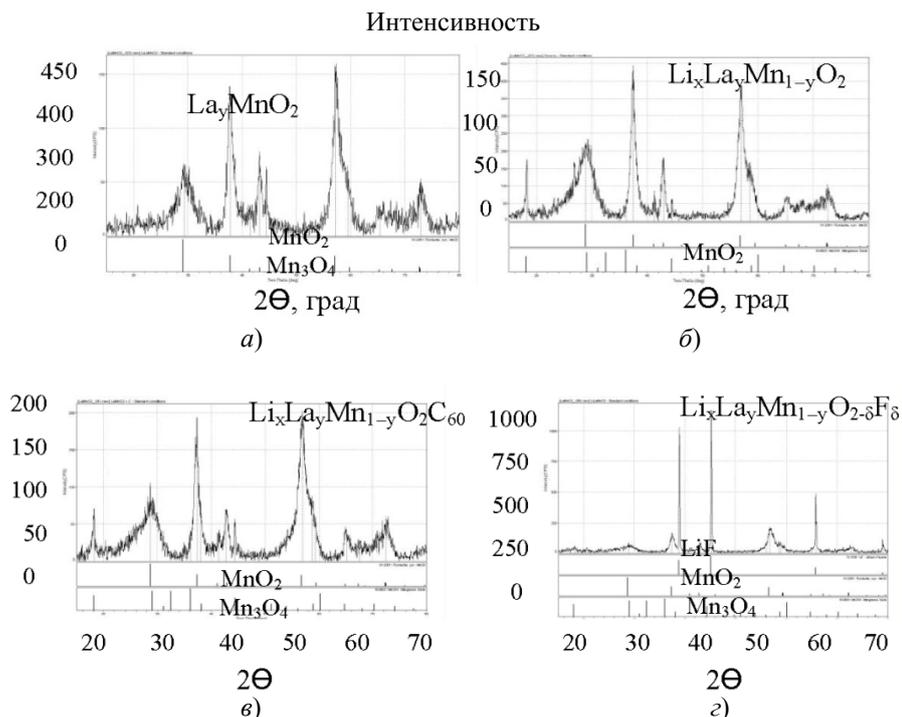


Рис. 7. Рентгеновские дифрактограммы образцов, исследованных на «Rigaku ФМАХ 2200/РС»: а – La_yMnO_2 ; б – $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$; в – $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$; г – $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\delta$

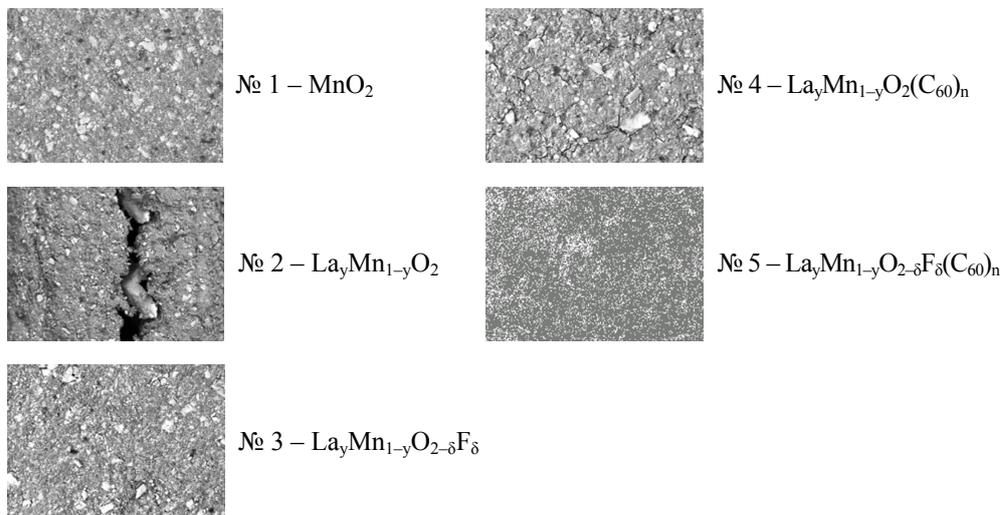


Рис. 8. Микрофотографии поверхности образца исходного MnO_2 (№ 1) и образца MnO_2 , обработанного в растворе салицилата лантана (№ 2), с добавками фторида лития (№ 3), фуллереновой сажи (№ 4), а также их смеси (№ 5)

Результаты и обсуждение

Известно, что катод на основе стехиометрической шпинели, LiMn_2O_4 , обнаруживает значительную потерю емкости при циклировании, в то время

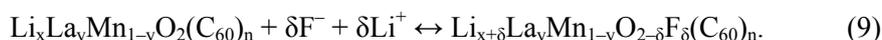
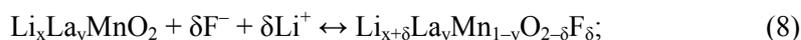
как для шпинели нестехиометрического состава потери емкости при циклировании значительно меньше [13].

Представленные на рис. 1, 3–5 данные о влиянии состава модифицированного MnO_2 -электрода на его потенциал в разомкнутой цепи и при поляризации в рабочем растворе хорошо согласуются в части увеличения емкости по литию с результатами циклирования в гальваностатическом (см. табл. 1) и потенциодинамическом (см. рис. 6) режимах и с данными по идентификации состава и структуры разработанных электродов (см. рис. 2, 7, 8). Установленное увеличение токовой нагрузки в ряду электродов $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\sigma$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$, $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\sigma(\text{C}_{60})_n$, их емкости по литию и лантану, степени обратимости при циклировании и обнаруженное перераспределение количества внедренных лантана, фуллерена, фторид-ионов при совмещении вводимых добавок (в атом. %) однозначно указывают на участие в электрохимическом процессе интеркалирования-деинтеркалирования лития всех составляющих компонентов (MnO_2 , La^{3+} , F^- , C_{60}) и значительное увеличение емкостных характеристик в процессе циклирования. Следует отметить, что в интервале от 50 до 100 циклов (см. рис. 6) емкостные характеристики практически перестают меняться и возрастают в ряду $\text{Li}_x\text{MnO}_2 < \text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2 < \text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n < \text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\sigma < \text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\delta}\text{F}_\sigma(\text{C}_{60})_n$.

Циклирование в заданном постоянном диапазоне потенциалов от -4 до -1 В характеризуется линейным ходом ЦПДК (см. рис. 6), что указывает на высокую обратимость электродов. Плотность тока на первом цикле при смещении потенциала от -1 до -4 В возрастает от $2,5$ до 18 мА/см^2 . На 100 цикле плотность тока при -1 В снижается до $0,5 \text{ мА/см}^2$, а при $E_p = -4$ В составляет $\approx 4 \text{ мА/см}^2$. Таким образом, величина $\Delta i/\Delta E$ меняется от $5,2$ на 1 цикле до $\sim 1,2 \text{ мА} \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ на 100 цикле. Это позволяет говорить не только о значительном насыщении решетки MnO_2 внедряющимися частицами La^{3+} , Li^+ и F^- , но и об участии фуллерена в этом процессе, что нашло подтверждение в результатах микроструктурных исследований, рентгенофазового анализа (см. рис. 2, 7, 8).

При интервале ΔE циклирования от -2 до $-4,5$ В величина ($\Delta i/\Delta E$) уменьшается до $3,6 \text{ мА В}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$. Таким образом, снижается проводимость модифицированного слоя вследствие заполнения вакансий в MnO_2 -решетке катионами La^{3+} , Li^+ и внедрением F^- -ионов в кислородную подрешетку.

Согласно сравнительным данным по характеристикам зарядно-разрядных циклов для модифицированного лантаном образца $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ и образцов, модифицированных фторид-ионами и фуллереном на стадии предобработки лантаном, и спектрам характеристического излучения (см. рис. 2), снятым после циклирования и позволившим определить элементный состав образцов, наибольшие значения плотности тока и, соответственно, емкость по литию при одинаковой длительности процесса наблюдаются при одновременном введении в раствор салицилата лантана на стадии предобработки добавок фуллереновой сажи и фторида лития (см. рис. 5). Время разряда электродов до 0 В в этом случае возрастает в два-три раза по сравнению с исходным MnO_2 -электродом. Обнаруженный синергетический эффект от совместного влияния добавок фуллереновой сажи и фторида лития в растворе соли лантана очевидно обусловлен протеканием следующих реакций:



Наибольшая отдача по емкости и наименьшая скорость деградации характерна для образцов, модифицированных лантаном совместно с добавками фторида лития и фуллерена.

Полученные данные по анализу влияния добавки фуллерена в электролит при модифицировании MnO_2 -электрода лантаном на процесс последующего интеркалирования-деинтеркалирования лития позволяет сделать вывод об эффективности использования фуллерена в качестве модификатора, позволяющего повысить сохранность заряда на электроде, тем самым увеличить длительность циклирования. Модифицирование фуллереном на стадии предобработки MnO_2 -электрода позволяет получить материалы с наименьшими ограничениями по диффузии лития, с большой токопроводимостью и наименьшим сопротивлением.

Список литературы

1. **Попова, С. С.** Горизонты электрохимических технологий / С. С. Попова // Актуальные проблемы электрохимической технологии : сб. ст. молодых ученых. – Саратов : СГТУ, 2008. – С. 3–6.
2. **Попова, С. С.** Влияние природы редкоземельного металла на кинетику электрохимических процессов на MnO_2 -электродах в апротонных органических растворах / С. С. Попова, Р. К. Францев, Е. С. Гусева // Электрохимическая энергетика. – 2011. – Т. 11, № 2. – С. 108–111.
3. **Беспалова, Ж. И.** Рентгенографические исследования состава титанового анода с электрокаталитическим покрытием на основе оксидов кобальта, марганца и никеля / Ж. И. Беспалова, В. В. Иванов, И. В. Смирницкая, Л. Н. Фесенко, Ю. Д. Кудрявцев // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83, № 2. – С. 244–248.
4. **Францев, Р. К.** Электрохимическое интеркалирование MnO_2 -электрода в апротонных органических растворах солей редкоземельных элементов / Р. К. Францев, С. С. Попова, Е. С. Гусева // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2011. – Т. 54, № 5. – С. 94–98.
5. **Чуриков, А. В.** Электрохимические свойства шпинелей $\text{Li}_x\text{Mn}_{2-y}\text{Me}_y\text{O}_4$ ($\text{Me} = \text{Cr}, \text{Co}, \text{Ni}$) как катодных материалов для литий-ионного аккумулятора / А. В. Чуриков, Э. Н. Качибая, В. О. Сычева, И. А. Иванищева, Р. И. Имнадзе, Т. В. Панкидзе, А. В. Иванищев // Электрохимия. – 2009. – Т. 45, № 2. – С. 185–192.
6. **Йи, Т.-Ф.** Кинетика электрохимической интеркаляции ионов лития для получения катодного материала – шпинели $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ / Т.-Ф. Йи, Ч. Я. Ли, Я.-Р. Жу, Р.-С. Жу, Ж. Шу // Электрохимия. – 2010. – Т. 46, № 2. – С. 236–242.
7. **Chang-chung, Jang.** Charge – discharge characteristics of composite MnO_2 cathode doped with metal oxides / Jang Chang-chung, Li Sheng-xian, Shi Zhong, Shi Zhong, Yang Hang-xi // 6th Int. Meet. Lithium Batteries. – Mag. 10–15: Extend. Abstr. and Program. – Münster, 1992. – С. 315–317.
8. **Delmas, C.** The cycling properties of the $\text{Li}_x\text{Ni}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_2$ electrode / C. Delmas, L. Saadoune, A. Rougier // 6th Int. Meet. Lithium Batteries. – Mag. 10–15: Extend. Abstr. and Program. – Münster, 1992. – С. 350–352.

9. **Arbizzani, C.** Lithium/polymer/polymer solid-state-rechargeable batteries / C. Arbizzani, A. M. Marinangeli, M. Mastragostino, L. Meneghello, T. Hamaide, A. Guyot // 6th Jnt. Meet. Lithium Batteries. – Mag. 10–15: Extend. Abstr. and Program. – Münster, 1992. – С. 256–258.
10. **Куренкова, М. Ю.** Фторуглеродные катоды для литиевых источников тока / М. Ю. Куренкова, Е. С. Гусева, С. С. Попова, К. Р. Касимов // Электрохимическая энергетика. – 2005. – Т. 5, № 4. – С. 263–265.
11. **De Boni, R.** Lithium battereum / R. De Boni // Elektrotechnik (Schuceiz). – 1988. – Vol. 39, № 3. – P. 77–78.
12. **Eberts, K.** Nur fuenf Prozent in zehn Jahren. Eigenschaften neuerer Lithiumbatterien / K. Eberts // Electrotechnik (BRD). – 1987. – Bd. 9, № 14. – S. 28–30, 32–33.
13. **Чурикова, А. В.** Фундаментальные проблемы преобразования энергии в литиевых электрохимических системах / А. В. Чурикова // Тез. докл. VII Междунар. конф. (Серпухов, 24–28 июня 2002 г.). – Серпухов, 2002. – С. 35–44.
14. **Борисов, С. В.** Стабильные катионные каркасы в структурах фторидов и оксидов / С. В. Борисов, Н. В. Подберезская. – Новосибирск : Наука, 1984. – С. 65.
15. **Гольдт, И. В.** Синтез и физико-химические свойства фторида фуллерена C₆₀F₁₈ / И. В. Гольдт, Н. И. Денисенко, А. В. Стрелецкий // «Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials» ICHMS' 2003: VIII Intern. Confer. (Sudak, Crimea, Ukraine, Sept. 14–20, 2003). – Kiev : IHSE, 2003. – С. 634–635.
16. **Архангельский, И. В.** Электрохимическая интеркаляция фуллеренов / И. В. Архангельский, Е. В. Скокан, А. В. Егоров, Ю. А. Добровольский, Л. С. Леонова // «Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials» ICHMS' 2003: VIII Intern. Confer. (Sudak, Crimea, Ukraine, Sept. 14–20, 2003). – Kiev : IHSE, 2003. – С. 578–581.
17. **Плэмбек, Дж.** Электрохимические методы анализа : пер. с англ. / Дж. Плэмбек. – М. : Мир, 1985. – 496 с.

References

1. Popova S. S. *Aktual'nye problemy elektrokhimicheskoy tekhnologii: sb. st. molodykh uchennykh* [Topical problems of electrochemical technology]. Saratov: SGTU, 2008, pp. 3–6.
2. Popova S. S., Frantsev R. K., Guseva E. S. *Elektrokhimicheskaya energetika* [Electrochemical energetics]. 2011, vol. 11, no. 2, pp. 108–111.
3. Bepalova Zh. I., Ivanov V. V., Smirnitskaya I. V., Fesenko L. N., Kudryavtsev Yu. D. *Zhurnal prikladnoy khimii* [The journal of applied chemistry]. 2010, vol. 83, no. 2, pp. 244–248.
4. Frantsev R. K., Popova S. S., Guseva E. S. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [University proceedings. Chemistry and chemical technology]. 2011, vol. 54, no. 5, pp. 94–98.
5. Churikov A. V., Kachibaya E. N., Sycheva V. O., Ivanishcheva I. A., Imnadze R. I., Pankidze T. V., Ivanishchev A. V. *Elektrokhiimiya* [Electrochemistry]. 2009, vol. 45, no. 2, pp. 185–192.
6. Yi T.-F., Li Ch. Ya., Zhu Ya.-R., Zhu R.-S., Shu Zh. *Elektrokhiimiya* [Electrochemistry]. 2010, vol. 46, no. 2, pp. 236–242.
7. Chang-chung Jang., Li Sheng-xian, Shi Zhong, Yang Hang-xi. *6th Jnt. Meet. Lithium Batteries. Mag. 10–15: Extend. Abstr. and Program.* Münster, 1992, pp. 315–317.
8. Delmas C., Saadoun L., Rougier A. *6th Jnt. Meet. Lithium Batteries. Mag. 10–15: Extend. Abstr. and Program.* Münster, 1992, pp. 350–352.
9. Arbizzani C., Marinangeli A. M., Mastragostino M., Meneghello L., Hamaide T., Guyot A. *6th Jnt. Meet. Lithium Batteries. Mag. 10–15: Extend. Abstr. and Program.* Münster, 1992, pp. 256–258.

10. Kurenkova M. Yu., Guseva E. S., Popova S. S., Kasimov K. R. *Elektrokhimicheskaya energetika* [Electrochemical energetics]. 2005, vol. 5, no. 4, pp. 263–265.
11. De Boni R. *Elektrotechnik* (Schuceiz) [Electrician]. 1988, vol. 39, no. 3, pp. 77–78.
12. Eberts K. *Elektrotechnik* (BRD) [Electrician]. 1987, vol. 9, no. 14, pp. 28–30, 32–33.
13. Churikova A. V. *Tez. dokl. VII Mezhdunar. konf. (Serpukhov, 24–28 iyunya 2002 g.)* [Proceedings of VII International conference (Serpukhov, 24th–28th June 2002)]. Serpukhov, 2002, pp. 35–44.
14. Borisov S. V., Podberezhskaya N. V. *Stabil'nye kationnye karkasy v strukturakh fluoridov i oksidov* [Stable cationic frameworks in structures of fluorides and oxides]. Novosibirsk: Nauka, 1984, p. 65.
15. Gol'dt I. V., Denisenko N. I., Streletskiy A. V. “Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials” *ICHMS' 2003: VIII Intern. Confer. (Sudak, Crimea, Ukraine, Sept. 14–20, 2003)*. Kiev: IHSE, 2003, pp. 634–635.
16. Arkhangel'skiy I. V., Skokan E. V., Egorov A. V., Dobrovolskiy Yu. A., Leonova L. S. “Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials” *ICHMS' 2003: VIII Intern. Confer. (Sudak, Crimea, Ukraine, Sept. 14–20, 2003)*. Kiev: IHSE, 2003, pp. 578–581.
17. Plembek Dzh. *Elektrokhimicheskie metody analiza: per. s angl.* [Electrochemical analysis methods: translation from English]. Moscow: Mir, 1985, 496 p.

Попова Светлана Степановна

доктор химических наук, профессор,
кафедра химической технологии,
Энгельский технологический институт
(филиал) Саратовского государственного
технического университета
им. Ю. А. Гагарина (Россия,
г. Энгельс, ул. Площадь свободы, 17)

E-mail: eti@techn.sstu.ru

Popova Svetlana Stepanovna

Doctor of chemical sciences, professor,
sub-department of chemical technology,
Engels Technological Institute (branch)
of Saratov State Technical University
named after Y. A. Gagarin (17 Ploshchad
Svobody street, Engels, Russia)

Гусева Екатерина Станиславовна

кандидат химических наук, докторант,
инженер 2 категории, кафедра
химической технологии, Энгельский
технологический институт (филиал)
Саратовского государственного
технического университета
им. Ю. А. Гагарина (Россия, г. Энгельс,
ул. Площадь свободы, 17)

E-mail: kett-lada@mail.ru

Guseva Ekaterina Stanislavovna

Candidate of chemical sciences, doctoral
candidate, 2nd category engineer,
sub-department of chemical Technology,
Engels Technological Institute (branch) of
Saratov State Technical University
named after Y. A. Gagarin (17 Ploshchad
Svobody street, Engels, Russia)

Францев Роман Константинович

кандидат химических наук, начальник
лаборатории, Центральный научно-
исследовательский институт
машиностроения (Россия, г. Королев,
ул. Пионерская, 4)

E-mail: frantsev@bk.ru

Frantsev Roman Konstantinovich

Candidate of chemical sciences, head of
laboratory, Central Research Institute of
Machine Building (4 Pionerskaya street,
Korolyov, Russia)

УДК 541-138

Попова, С. С.

Электрохимическое интеркалирование лантана и фуллерена из неводных фторидсодержащих растворов – новое перспективное направление повышения емкости $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ -электрода / С. С. Попова, Е. С. Гусева, Р. К. Францев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 3 (15). – С. 64–78. DOI: 10.21685/2307-9150-2016-3-7

Внимание 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, экологии, а также обзорные статьи по тематике журнала.

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

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows (тип файла – RTF, DOC).

Необходимо представить статью в электронном виде (VolgaVuz@mail.ru) 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. Статья **обязательно** должна содержать индекс УДК, ключевые слова и развернутую аннотацию объемом от 100 до 250 слов, имеющую четкую структуру **на русском** (Актуальность и цели. Материалы и методы. Результаты. Выводы) **и английском** (Background. Materials and methods. Results. Conclusions) **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 **обязательно** должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Word Equation (версия 3.0) или MathType. 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. **Требования к оформлению списка литературы** на русские и иностранные источники: **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, страницы; **для материалов конференций** – фамилия и инициалы автора, название статьи, название конференции, город, издательство, год, страницы.

К материалам статьи **должна** прилагаться следующая информация: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, место и юридический адрес работы (на русском и английском языках), e-mail, контактные телефоны (желательно сотовые).

Обращаем внимание авторов на то, что перевод имен собственных на английский язык в списке литературы осуществляется автоматически с использованием программы транслитерации в кодировке BGN (сайт translit.ru). Для обеспечения единообразия указания данных об авторах статей во всех реферируемых базах при формировании авторской справки при подаче статьи необходимо представить перевод фамилии, имени, отчества каждого автора на английский язык, или он будет осуществлен автоматически в программе транслитерации в кодировке BGN.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается. Рукопись, полученная редакцией, не возвращается. Редакция оставляет за собой право проводить редакционную 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;**
- **экология.**

Стоимость одного номера журнала – 500 руб. 00 коп.

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

Подписку можно оформить по объединенному каталогу «Пресса России», тематические разделы: «Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов», «Природа. Мир животных и растений. Экология», «Химия. Нефтехимия. Нефтегазовая промышленность». Подписной индекс – 70238.

ЗАЯВКА

Прошу оформить подписку на журнал «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки» на 20__ 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 «___» _____ 20__ г.